399
أبريل
2013

عالم المعرفة

فيزياء المستحيل

تأليف: ميشيو كاكو
ترجمة: د. سعد الدين خرفان

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت


سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت

صدرت السلسلة في يناير 1978

أسسها أحمد مشاري العدواني (1923-1990) ود. فؤاد زكريا (1927-2010)

399

فيزياء المستحيل

تأليف: ميشيو كاكو

ترجمة: د. سعد الدين خرفان



أبريل 2013



سلسلة شهرية يصدرها
المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب

سعر النسخة

الكويت ودول الخليج	دينار كويتي
الدول العربية	ما يعادل دولارا أمريكيا
خارج الوطن العربي	أربعة دولارات أمريكية

الاشتراكات

دولة الكويت

للأفراد	15 د. ك
للمؤسسات	25 د. ك

دول الخليج

للأفراد	17 د. ك
للمؤسسات	30 د. ك

الدول العربية

للأفراد	25 دولارا أمريكيا
للمؤسسات	50 دولارا أمريكيا

خارج الوطن العربي

للأفراد	50 دولارا أمريكيا
للمؤسسات	100 دولار أمريكي

تسدد الاشتراكات مقدما بحوالة مصرفية باسم المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب وترسل على العنوان التالي:

السيد الأمين العام
للمجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب
ص. ب: 28613 - الصفاة
الرمز البريدي 13147
دولة الكويت
تليفون: 22431704 (965)
فاكس: 22431229 (965)
www.kuwaitculture.org.kw

ISBN 978 - 99906 - 0 - 385 - 9

رقم الإيداع (2013/134)

العنوان الأصلي للكتاب

Physics of the Impossible:

A Scientific Exploration into the World of Phasers, Force Fields, Teleportation, and Time Travel

by

Michio Kaku

Doubleday, New York 2008

طُبع من هذا الكتاب ثلاثة وأربعون ألف نسخة

جمادى الأولى 1434 هـ - أبريل 2013

المحتوى

مقدمة

«لقد أصبحت فلسفة عصر ما سخافة العصر الذي يليه، وأصبحت حماقة البارحة حكمة الغد»

السير وليام أوزير

«إذا لم تبد الفكرة من البداية عبثية فلا أمل فيها»

ألبرت آينشتاين

هل سيمكننا يوما ما السير خلال حائط؟ وبناء سفن فضائية تسير بأسرع من الضوء؟ وقراءة أفكار الآخرين؟ والاختفاء عن أعين الناس؟ وتحريك الأشياء بقوة عقولنا؟ ونقل أجسامنا فورا عبر الفضاء الخارجي؟

مذ كنت طفلا، شغفت دوما بهذه الأسئلة. وكالعديد من الفيزيائيين، بينما كنت أنمو، كنت شغوفا بإمكانية السفر عبر الزمان، وبالمسدسات الشعاعية، وبحقول القوة، والأكوان المتوازية وما يشبهها. كان السحر والأسطورة والخيال العلمي كلها

مجال ألعاب ضخما لمخيلتي الخصبة. وهكذا بدأت قصة حبي للمستحيل التي استمرت العمر كله.

أتذكر مشاهدة إعادة مسلسل «فلاش غوردون»(*) القديم على التلفاز، كنت ألتصق كل يوم سبت بجهاز التلفاز مشدودا إلى مغامرات فلاش والدكتور زاركوف وديل أردن وآلاتهم المدهشة ذات التقانة المستقبلية: سفن صاروخية، دروع لامرئية، مسدسات شعاعية، ومدن فضائية. لم أتخلف أسبوعا واحدا. لقد فتح البرنامج عالما جديدا لي. تحمست لفكرة السفر يوما كالصاروخ إلى كوكب غريب واكتشاف تضاريسه الغريبة. ولأنني انجذبت إلى عالم هذه الاختراعات الرائعة علمت أن مصيري الشخصي قد ارتبط بطريقة ما بعجائب العلم التي وعد بها هذا المسلسل.

وكما تبين لي بعدها، لم أكن الوحيد في ذلك. لقد أصبح العديد من العلماء المتميزين مهتمين لأول مرة بالعلم من خلال تعرضهم للخيال العلمي. كان الفلكي العظيم إدوين هوبل مسحورا بأعمال جول فيرن(**). ونتيجة لقراءة قصصه تخلى عن مهنة واعدة في الحقوق وعصى رغبات والده ليبدأ مهنة في العلم. وأصبح في النهاية أعظم فلكي في القرن العشرين. والتهب خيال الفلكي المتميز وأكثر المؤلفين رواجا كارل ساغان عند قراءة روايات «جون كارتر المريخ» لإدغار رايس بارو. ومثل جون كارتر، حلم أن يستكشف يوما ما رمال المريخ.

كنت لا أزال طفلا في اليوم الذي توفي فيه آينشتاين، لكنني أتذكر الناس وهم يتكلمون عن حياته وموته بأصوات منخفضة. وفي اليوم التالي شاهدت في الصحف صورة لمكتبه، وعليه المخطوطة غير المنتهية لعمله الأعظم غير المنجز. سألت نفسي: ما الشيء المهم الذي لم يستطع أعظم عالم في عصرنا أن ينهيه؟ زعم المقال أنه كان لآينشتاين حلم مستحيل،

(*) Flash Gordon، مسلسل خيال علمي تلفزيوني بني على شخصيات من سلسلة القصص المصورة التي كتبها الأمريكي آلكس ريموند (1909 - 1956)، عرضت أولى حلقاته في أكتوبر 1954 وآخرها في يوليو 1955 [المحررة].

(**) جول غابريل فيرن (1828 - 1905)، مؤلف فرنسي، ويعد رائد كتابات الخيال العلمي. كتب عن السفر تحت الماء وفي الجو وفي الفضاء قبل أن تخترع الوسائل التي تسمح بذلك. من أشهر مؤلفاته «رحلة إلى مركز الأرض» في العام 1864 و«حول العالم في ثمانين يوما» في العام 1873 [المحررة].

مشـــكلة صعبة جدا بحيث كان من غير الممكن لبشـــر أن ينهيها. استغرق الأمر مني ســـنوات لأكتشف ما الذي كانت المخطوطة تدور حوله: «نظرية كل شيء» موحدة، عظيمة. لقد ساعدني حلمه - الذي استغرق منه العقود الثلاثـــة الأخيرة من حياته - على تركيز مخيلتـــي. لقد رغبت بطريقة ما متواضعة أن أكون جزءا من مجهود إكمال عمل آينشتاين في توحيد قوانين الفيزياء في نظرية واحدة.

ومع تقدمي في العمر بدأت أدرك أنه على الرغم من أن فلاش غوردون كان البطل الذي يفوز دوما بالفتاة، بيد أن العالم هو الذي أنجح المسلســـل التلفزيونـــي. فمن دون الدكتور زاركوف لما كانت هناك ســـفينة صاروخية، ولا رحـــلات إلى المونغو، ولا إنقاذ للأرض. ولو وضعنا البطولة جانبا، فلا وجود لخيال علمي من دون العلم.

أدركت أن هذه الحكايات كانت ببســـاطة مستحيلة بحسب العلم الذي تتضمنه، وهي مجرد شطحات من الخيال. إن التقدم في السن يعني إزاحة هذه الأحلام جانبا. ففـــي الحياة الواقعية كما أُنبئت، على المرء أن يتخلى عن المستحيل وأن يتبنى الواقع.

ومع ذلك، استنتجت أنه إذا كان لي أن أتابع اندهاشي بالمستحيل، فسيكون المفتـــاح لذلك مـــن خلال حقل الفيزياء. ومن دون أســـاس صلب من الفيزياء المتقدمة فســـأراهن دوما حول التقانات المستقبلية من دون أن أفهم إذا كانت ممكنـــة أم لا. لقـــد أدركت أنني بحاجة إلى أن أقحم نفســـي في الرياضيات المتقدمة، وأن أتعلم الفيزياء النظرية. ولذا فقد كان هذا ما قمت به.

في المدرســـة الثانويـــة ركّبت محطم ذرات لمشـــروعي الذي عرض في المعرض العلمي، وذلك في مرآب والدتي. ذهبت إلى شـــركة ويستنغهاوس وجمعـــت 400 باوند من فولاذ المحولات التالفة. وخلال عيد الميلاد لففت 22 ميلا من أسلاك النحاس حول ملعب المدرسة الثانوية لكرة القدم. وفي النهاية ركبت مســـرع جسيمات بيتاترون بقدرة 2.3 مليون إلكترون فولط، اســـتهلك 6 كيلو وات من الطاقة (وهو حاصل إنتاج منزلي بكامله) وولدت حقلا مغناطيســـيا أقوى بـ 20 ألف مرة من الحقل المغناطيســـي الأرضي. وكان هدفي توليد حزمة من أشعة غاما قوية بما يكفي لتولد مضاد المادة.

قادني مشـــروع المعرض العلمي إلى المعـــرض الوطني للعلوم وحقق في النهاية حلمي بكسب منحة للدراسة في جامعة هارفارد، مكنتني أخيرا من متابعـــة هدفي في أن أصبح فيزيائيا نظريا، وأن أتبع خطى مثلي الأعلى، ألبرت آينشتاين.

أتلقى اليوم رســائل بالبريد الإلكتروني من كتاب الخيال العلمي وكتاب الأفلام يطلبون فيها مني أن أشـــحذ قصصهم عن طريق استكشاف حدود قوانين الفيزياء.

«المستحيل» أمر نسبي

بوصفي فيزيائيا، تعلمت أن «المســـتحيل» هو غالبا مصطلح نســـبي. في نشـــأتي، أتذكر معلمتي وهي تمشـــي يوما نحو خريطـــة الأرض المعلقة على الحائط مشـــيرة إلى شـــواطئ أمريكا وأفريقيا. أليست مصادفة غريبة، كما قالت، أن يتطابق الشـــاطئان كلاهما مع الآخـــر مثل أحجية الصور المقطعة؟ خمـــن بعض العلماء، كمـــا قالت، أنهما ربما كانا في وقـــت ما جزءا من قارة ضخمة واحدة. لكن ذلك سخيف. فلا يمكن لأي قوة أن تدفع قارتين ضخمتين كلا منهما بعيدا عن الأخرى. مثل هذا التفكير مستحيل، كما استنتجت.

بعد ذلك في تلك السنة درسنا الديناصورات. أليس غريبا، كما أخبرتنا معلمتنا أن تهيمن الديناصورات على الأرض لملايين السنين ثم تختفي كلها فجـــأة؟ لا أحد يدري لمـــاذا ماتت كلها. يعتقد بعض علمـــاء الحفريات أن شـــهابا من الفضاء قتلها جميعها، لكن هذا مستحيل، وهو يقع أكثر ضمن مجال الخيال العلمي.

نعلم اليوم أن القارات تستمر في التحرك من خلال الصفائح التكتونية، وأن شـــهابا ضخما بعرض ســـتة أميال ضرب الأرض منذ 65 مليون سنة، وأنه أباد الديناصورات ومعظم الحياة على الأرض. وخلال حياتي القصيرة غالبا ما شـــاهدت مرة تلو أخرى ما يبدو مســـتحيلا يصبح حقيقة علمية مؤكدة. فهل من المستحيل التفكير في أننا قد نستطيع يوما أن ننقل أنفسنا فجأة من مكان إلى آخر، أو أن نبني ســـفينة فضائية يمكن لها أن تأخذنا يوما ما إلى النجوم التي تبعد عنا سنوات ضوئية؟

عادة تعتبر مثل هذه الأمور مستحيلة من علماء الفيزياء اليوم، فهل يمكن أن تصبح ممكنة بعد عدة قرون؟ أو خلال عشرة آلاف سنة عندما تصبح تقانتنا أكثر تقدما؟ أو بعد مليون سنة؟ وبعبارة أخرى لو صادفنا بطريقة ما حضارة أكثر تقدما من حضارتنا بمليون سنة، فهل ستبدو تقانتهم الحالية «سحرا» بالنسبة إلينا؟ هذا أحد الأسئلة المحورية التي تطرح خلال هذا الكتاب؛ هل بمجرد أن يكون شيء ما «مستحيلا» اليوم، يعني أنه سيبقى كذلك بعد قرون أو بعد ملايين السنين في المستقبل؟

باعتبار التطورات الملحوظة في العلم في القرن الماضي، وعلى الأخص اكتشاف النظرية الكوانتم ونظرية النسبية العامة، أصبح من الممكن الآن إعطاء تقديرات تقريبية لموعد تحقق بعض هذه التقانات المثيرة، إن كان لها أن تتحقق. ومع ظهور نظريات أكثر تقدما، مثل نظرية الأوتارالفائقة، يمكن لبعض الأفكار التي تحوم الآن حول الخيال العلمي، مثل السفر عبر الزمان والأكوان المتوازية، أن يعاد تقييمها من قبل الفيزيائيين. عد بتفكيرك 150 عاما إلى الوراء إلى التطورات التكنولوجية التي أعلنت «مستحيلة» من قبل العلماء في ذلك الوقت، والتي أصبحت الآن جزءا من حياتنا اليومية. كتب جول فيرن رواية «باريس في القرن العشرين» في العام 1863، وبقيت مهملة ومنسية لأكثر من قرن حتى اكتشفها حفيده وبالمصادفة، ونشرت لأول مرة في العام 1994، وفيها تنبأ فيرن بما ستكون عليه باريس في العام 1960. لقد ملئت روايته بتقانة اعتبرت مستحيلة تماما في القرن التاسع عشر بما في ذلك آلات الفاكس وشبكة اتصال عالمية وناطحات سحاب من الزجاج، وسيارات تعمل على البنزين، وقطارات رفع سريعة جدا.

ولم يكن غريبا أن يقوم فيرن بمثل هذه التنبؤات الدقيقة جدا لأنه كان منخرطا في عالم العلم، ملتقطا عقول العلماء حوله، لقد سمح له تقديره العميق لمبادئ العلم أن يقدم مثل هذه التنبؤات المدهشة.

للأسف اتخذ بعض أعظم علماء القرن التاسع عشر الموقف المعاكس، وأعلنوا أن عددا من هذه التقانات مستحيلة تماما. لقد أعلن اللورد كلفن، الذي ربما كان أشهر فيزيائيي الحقبة الفيكتورية (دفن في كنيسة وستمنستر بالقرب من إسحق نيوتن)، أن الآلات «الأثقل من الهواء» مثل الطائرة

مستحيلة. واعتقد أن أشعة إكس خرافة، وأنه لا مستقبل للمذياع. واستبعد اللورد روذفورد الذي اكتشف نواة الذرة احتمال بناء قنبلة ذرية مقارنا إياها بـ «شعاع القمر» (*). وأعلن كيميائيون من القرن التاسع عشر أن البحث عن حجر الفلاسفة وهو مادة خرافية يمكن بواسطتها تحويل الرصاص إلى ذهب، مستحيل علميا. لقد أُسست كيمياء القرن التاسع عشر على مبدأ عدم تحول المواد مثل الرصاص. لكن باستخدام محطمات الذرة نستطيع اليوم من حيث المبدأ أن نحول ذرات الرصاص إلى ذهب. تصور كيف كانت تلفزيونات وحاسبات وإنترنت اليوم ستبدو مذهلة عند بداية القرن العشرين.

وأحدث من ذلك، اعتبرت الثقوب السوداء في وقت ما خيالا علميا. لقد كتب آينشتاين نفسه ورقة علمية في العام 1939 «برهن» فيها على أن الثقوب السوداء لا يمكن أبدا أن تتشكل. لكن منظار هوبل الفضائي ومنظار أشعة إكس لتشاندرا أظهرا آلاف الثقوب السوداء في الفضاء.

كان سبب تصنيف هذه التقانات بـ «المستحيلات» هو أن القوانين الأساسية للفيزياء والعلم لم تكن معروفة في القرن التاسع عشر، وفي الجزء المبكر من القرن العشرين. وباعتبار الفجوات الضخمة في فهم العلم في ذلك الوقت، وبالأخص على المستوى الذري، فليس من المستغرب أن تعتبر هذه التطورات مستحيلة.

دراسة المستحيل

من المفارقة أن الدراسة الجادة للمستحيل غالبا ما فتحت حقولا غنية وغير متوقعة من العلم. على سبيل المثال، قاد البحث العقيم والمخيب لـ «الآلة دائمة الحركة» الفيزيائيين إلى الاستنتاج أن مثل هذه الآلة مستحيلة، ما أجبرهم على طرح نظرية حفظ الطاقة وقوانين الديناميكا الحرارية الثلاثة. لذا ساعد البحث العقيم لبناء آلات دائمة الحركة في فتح حقل علمي جديد تماما من الديناميكا الحرارية، والذي أسس جزئيا للمحرك البخاري، عصر الآلة والمجتمع الصناعي الحديث.

وعند نهاية القرن التاسع عشر قرر العلماء أن من «المستحيل» أن يكون عمر الأرض مليارات السنين. وصرح اللورد كلفن علنا بأنه يمكن للأرض المنصهرة

(*) المقارنة بـ «شعاع القمر» (Moonshine) تفيد بالإنكار والتكذيب، لأن القمر لا يشع بذاته [المحررة].

أن تبرد خلال 20 إلى 40 مليون سنة، معارضا في ذلك الجيولوجيين وعلماء الأحيـاء الداروينيين الذيـن زعموا أن عمر الأرض يمكـن أن يكون مليارات السـنين. وقد برهن أخيرا على أن المسـتحيل ممكن، باكتشاف القوة النووية علـى يد السـيدة كوري وآخرين، والتـي أظهرت أن مركز الأرض، المسـخن بالتفكك الإشعاعي، يمكن أن يبقى منصهرا لمليارات السنين.

نهمل المسـتحيل على حسابنا. كان روبرت غودارد مؤسس علم الصواريخ الحديث في العشـرينيات والثلاثينيات موضوعا لسـخرية شديدة من أولئك الذين اعتقدوا أنه لا يمكن للصواريخ أبدا أن تسـافر في الفضاء الخارجي. لقـد أطلقوا على محاولته بتهكم «حماقة غودارد». وفي العام 1921 شـجب محررو مجلة نيويورك تايمز عمل غودارد بالقول: «لا يعرف بروفسور غودارد العلاقـة بين الفعل ورد الفعل، والحاجة إلى شـيء أفضـل من الفراغ للعمل ضده. يبدو أنه يفتقر إلى المعرفة الأساسـية التي تعطى كل يوم في المدارس الثانوية». الصواريخ مستحيلة، كما صرح المحررون بازدراء، لأنه لا يوجد هواء في الفضاء الخارجي لتتدفع هذه الصواريخ ضده. وللأسـف، فقد وعى أحد رؤسـاء الدول، وهو أدولف هتلر، معاني صواريخ غودارد «المستحيلة». وخلال الحرب العالمية الثانية أمطر وابل من صواريخ V-2 المتقدمة والمستحيلة الموت والخراب على لندن، ما جعلها تجثو على ركبتيها تقريبا.

وربما غيرت دراسـة المسـتحيل أيضا مسـار التاريخ العالمي. لقد اعتقد بشـكل عام في الخمسينيات حتى من قبل آينشتاين نفسه، أن القنبلة الذرية «مستحيلة». لقد أدرك الفيزيائيون أن هناك كمية هائلة من الطاقة محصورة ضمن نواة الذرة بحسب معادلة آينشتاين $E=mc^2$، لكن كمية الطاقة المطلقة مـن نواة وحيدة هي ضئيلة جـدا كي يتم اعتبارها. لكن الفيزيائي النووي ليو سـيلزارد تذكر قراءة رواية هـ. ج. ويلز للعام 1914، «*العالم محررا*»، حيث تنبأ ويلز بتطوير القنبلة الذرية. لقد ذكر في كتابه أن سـر القنبلة الذرية سـيحل من قبـل فيزيائيي العام 1933. وبالمصادفة عثر سـيلزارد على هذا الكتاب فـي العـام 1932. وبدافع من هذه الرواية، عثر سـيلزارد في العام 1933، تمامـا كما توقع ويلز منـذ عقدين من الزمن، على فكـرة تضخيم طاقة ذرة وحيدة من خلال التفاعل المتسلسل، بحيث يمكن تضخيم الطاقة من انشطار

نواة يورانيوم وحيدة بعدة تريليونات المرات. ولذا حرك سيلزارد سلسلة من التجارب المهمة، والمفاوضات السرية بين آينشتاين والرئيس فرانكلين روزفلت والتي قادت أخيرا إلى مشروع مانهاتن، الذي أنتج القنبلة الذرية.

مرة بعد أخرى نرى أن دراسة المستحيل فتحت آفاقا جديدة تماما، موسعة حدود الفيزياء والكيمياء ومجبرة العلماء على إعادة تحديد ما يعنونه بكلمة «مستحيل». وكما قال السير وليام أوزير مرة: «لقد أصبحت فلسفة عصر ما سخافة العصر الذي يليه، وأصبحت حماقة البارحة حكمة الغد».

ويتفق العديد من الفيزيائيين مع المقولة الشهيرة لـ تي. اتش. وايت الذي كتب في «**الملك لمرة، وفي المستقبل**»: «أي شيء غير ممنوع ضروري». وفي الفيزياء نجد الدليل على هذه المقولة طوال الوقت. فما لم يكن هناك قانون فيزيائي يمنع بوضوح ظاهرة جديدة نجد في النهاية أنها موجودة (حدث هذا مرات عدة [1] في البحث عن جسيمات تحت ذرية. وبتفحص حدود ما هو ممنوع، اكتشف الفيزيائيون عدة مرات من دون توقع قوانين جديدة في الفيزياء)، والنتيجة الطبيعية لمقولة وايت ستكون «أي شيء غير مستحيل هو ممكن!».

على سبيل المثال، حاول عالم الكونيات ستيفن هوكنغ أن يبرهن على أن السفر عبر الزمان مستحيل باكتشاف قانون جديد في الفيزياء يمنع ذلك، دعاه «حدس حماية الزمان». لكنه لسوء الحظ لم يستطع بعد سنوات عدة من العمل الشاق أن يبرهن على هذا المبدأ. وفي الحقيقة، على عكس ذلك، وضح العلماء الآن أن القانون الذي يمنع السفر عبر الزمان يقع خارج رياضياتنا الحالية. واليوم لأنه لا يوجد قانون فيزيائي يمنع وجود آلات الزمن، على الفيزيائيين أن يعتبروا احتمال صنعها بجدية.

هناك بالفعل تقانة «مستحيلة» برهن على أنها ممكنة: فكرة النقل الفوري البعيد (teleportation) (على الأقل على مستوى الذرات). وحتى سنوات قليلة سابقة كان الفيزيائيون يقولون إن إرسال شيء أو نقله بحزمة شعاعية من مكان إلى آخر يناقض قوانين فيزياء الكوانتم. وفي الحقيقة فقد تأثر كتاب المسلسل التلفزيوني الأصلي «ستار ترك» [*] (Star Trek)

(*) Star Trek: هو مسلسل خيال علمي من تأليف جين دودنبيري يتتبع مغامرات المركبة الفضائية يو. إس. إس وطاقمها في مجرة درب التبانة نحو العام 2260. عرضت أولى حلقاته في سبتمبر 1966 [المحررة].

بالنقد من الفيزيائيين بحيث إنهم أضافوا «معوضات هايزنبرغ» لتفسير ناقلاتهم الفورية من بعد لمعالجة هذا الخلل. ويستطيع الفيزيائيون اليوم، بفضل اكتشاف حديث، أن ينقلوا الذرات فورا من بعد عبر غرفة أو الفوتونات تحت نهر الدانوب.

التنبؤ بالمستقبل

من الخطر دوما إعطاء تنبؤات، وبخاصة لقرون أو لآلاف السنين في المستقبل. ولع الفيزيائي نيلز بور بالقول «من الصعب التنبؤ وبخاصة حول المستقبل»، لكن هناك فارقا أساسا بين زمن جول فيرن والوقت الحالي. واليوم أصبحت القوانين الأساس للفيزياء مفهومة. ويفهم الفيزيائيون اليوم القوانين الأساس التي تمتد ضمن مجال ضخم يبلغ 10^{43}(*)، يمتد من داخل البروتون إلى الكون المتمدد بأكمله. ونتيجة لذلك يستطيع الفيزيائيون القول بثقة معقولة كيف ستبدو حدود التقانة في المستقبل، وأن يفرقوا بشكل أفضل بين تلك التقانات التي هي غير محتملة فقط وتلك التقانات التي هي مستحيلة فعلا.

لذا، فإنني في هذا الكتاب أصنف الأشياء «المستحيلة» إلى ثلاثة أصناف:

الأول هو ما أدعوه بـ «**مستحيلات الصنف الأول**». وهي تقانات مستحيلة اليوم لكنها لا تناقض القوانين المعروفة في الفيزياء. وبالتالي فهي ممكنة في هذا القرن، أو ربما في القرن الذي يليه، بشكل معدل. وهي تشمل النقل الفوري من بعد، ومحركات مضاد المادة، وأنواع معينة من التخاطر من بُعد (telepathy)، والتحريك النفسي (sychokinesis)، والاحتجاب عن الرؤية (invisibility).

الثاني هو ما أدعوه «**مستحيلات الصنف الثاني**». وهي تقانات تقع على حافة فهمنا للعالم الفيزيائي. وإذا كانت ممكنة على الإطلاق، فإن ذلك سيستغرق ما بين آلاف وملايين السنين في المستقبل. وتشمل آلات الزمن (time machines)، وإمكانية السفر عبر الفضاء الفائق (hyperspace)، والسفر عبر الثقوب الدودية (wormholes).

(*) درجة الكبر (Order of Magnitude).

والأخير هو ما أدعوه «**مستحيلات الصنف الثالث**»، وهي تقانات تناقض قوانين الفيزياء المعروفة. ومن الغريب أن هناك عددا قليلا جدا من مثل هذه التقانات المستحيلة. ولو ظهر أنها ممكنة، فإنها ستمثل تحولا أساسيا في فهمنا للفيزياء.

هذا التصنيف مهم، كما أشعر، لأن تقانات عديدة في الخيال العلمي تستبعد من قبل العلماء على أنها مستحيلة تماما، في حين أن ما يعنيه ذلك حقا هو أنها مستحيلة بالنسبة إلى حضارة بدائية كحضارتنا. تعتبر الزيارات إلى النجوم، على سبيل المثال، مستحيلة لأن المسافات كبيرة جدا. لكن بينما يكون السفر بين النجوم بالنسبة إلى حضارتنا مستحيلا، فقد يكون ممكنا لحضارة تتقدمنا بقرون أو آلاف أو ملايين السنين. لذا من المهم تصنيف مثل هذه «المستحيلات». إن التقانات المستحيلة بالنسبة إلى حضارتنا الحالية ليست بالضرورة مستحيلة على أنواع أخرى من الحضارات. ويجب أن تأخذ التصريحات حول ما هو ممكن ومستحيل بعين الاعتبار التقانات التي تتقدمنا بآلاف إلى ملايين السنين.

كتب كارل ساغان مرة: «ما الذي يعنيه أن يكون عمرحضارة ما ملايين السنين؟ لقد امتلكنا مناظير إشعاعية وسفنا فضائية منذ عدة عقود فقط، إن عمر حضارتنا التقنية هو بضع مئات من السنين... إن حضارة متقدمة عمرها ملايين السنين تتقدمنا كما نتقدم نحن القرد الليلي الصغير (*) أو قرد الماكاك (**)».

ركزت في بحثي بمهنية على محاولة إتمام حلم آينشتاين في «نظرية كل شيء». وشخصيا أجد العمل على «نظرية نهائية» يمكنها في النهاية الإجابة عن بعض أصعب الأسئلة «المستحيلة» في العلم، مثل فيما إذا كان السفر عبر الزمان ممكنا، وما يقع في مركز ثقب أسود (blackhole)، أو ما الذي حدث قبل الانفجار الكبير أمرا مثيرا. ولا أزال أحلم في يقظتي بعلاقتي الغرامية الطويلة بالمستحيل، وأتساءل: متى يمكن لهذه المستحيلات أن تصبح ضمن الأمور اليومية أو إذا كان ذلك ممكنا على الإطلاق.

(*) Bush baby.

(**) Macaque.

الباب الأول

مستحيلات الصنف الأول

I

حقول القوة

1 - عندما يصرّح عالم مميز متقدم في السن بأن شيئا ما ممكن، فإنه بالتأكيد محق. وعندما يصرّح بأن شيئا ما مستحيل، فمن المحتمل جدا أنه مخطئ.

2 - الطريقة الوحيدة لاكتشاف حدود الممكن هي المغامرة في الذهاب أبعد منها إلى المستحيل.

3 - أي تقانة متطورة جدا لا يمكن تمييزها عن السحر.

قوانين آرثر سي. كلارك الثلاثة

«إذا اكتشفت نواقل فائقة عند درجة حرارة الغرفة فقد يستطيع المرء استخدام حقول مغناطيسية قوية لرفع السيارات والقطارات وجعلها تعوم في الهواء كما في قصص الخيال العلمي»

المؤلف

«ارفعوا الدروع!»

في عدد لا يحصى من حلقات ستار ترك كان هذا هو أول ما يصرخ به القبطان كيرك إلى طاقم السفينة، لرفع حقول القوة لحماية سفينة النجوم إنتربرايز من نيران العدو.

إن حقول القوة ضرورية جدا في مسلسل ستار ترك بحيث يقاس مصير المعركة بصمودها. وكلما سحبت الطاقة من حقول القوة عانت سفينة إنتربرايز من الصدمات الضارة لهيكلها، إلى أن يصبح الاستسلام أمرا محتّما في النهاية.

لذا ما حقل القوة؟ إنه في قصص الخيال العلمي شيء بسيط بشكل مخادع: حاجز نحيف وغير مرئي، ولكنه لا يخترق، قادر على حرف أشعة الليزر والصواريخ. ويبدو حقل القوة من الوهلة الأولى بسيطا جدا بحيث إن صنعه كدرع تحمي حقل المعركة أمر ممكن. ويتوقع المرء أن يصرح مخترع عبقري يوما ما باكتشاف حقل قوة دفاعي. لكن الحقيقة أكثر تعقيدا من ذلك بكثير.

وبالطريقة ذاتها التي طور فيها مصباح إديسون الحضارة الحديثة، يمكن لحقل القوة أن يؤثر بعمق على كل ناحية من نواحي حياتنا. يمكن للجيش أن يستخدم حقول القوة ليصبح غير قابل للهزيمة، بصنع درع لا تخترق ضد صواريخ العدو وقذائفه. ويمكن بناء الجسور، والطرق السريعة الفائقة نظريا بمجرد الضغط على زر. ويمكن في لحظة إنشاء مدن بأكملها في الصحراء، تحتوي على ناطحات سحاب مصنعة بالكامل من حقول القوة. ويمكن لحقول القوة المنصوبة فوق المدن أن تمكّن ساكنيها من تعديل تأثيرات رياح الطقس العنيف، والعواصف، والأعاصير كما يشاءون. ويمكن بناء مدن تحت المحيطات ضمن النطاق الآمن لحقل القوة. ويمكن استبدال الزجاج، والفولاذ، والإسمنت، بالكامل.

ومع ذلك فمن الغريب أن حقل القوة ربما كان أحد أكثر الأشياء صعوبة لصنعه في المختبر. وفي الحقيقة، يعتقد بعض الفيزيائيين أنه ربما كان من المستحيل فعل ذلك، من دون تعديل خصائصه.

مايكل فارادي

نشأت فكرة حقول القوة من عمل العالم البريطاني العظيم مايكل فارادي في القرن التاسع عشر. ولد فارادي لأبوين من الطبقة العاملة (كان والده حدادا) واكتسب قوته المتواضع كمتدرب من تجليد الكتب في أوائل

القرن التاسع عشر. كان فارادي الصغير مبهورا بالاختراقات الضخمة في الكشـف عن الخصائص السـرية الغريبة لقوتين: الكهرباء والمغناطيسية. التهم فارادي كل ما يستطيع حول هذه المواضيع، وحضر المحاضرات التي كان يلقيها الأستاذ همفري ديفي من المعهد الملكي في لندن.

وفي أحد الأيام أعطب الأسـتاذ ديفي عينيه بشـدة فـي حادث كيميائي واستخدم فارادي سكرتيرا له. بدأ فارادي ببطء يكسب ثقة العلماء في المعهد الملكي، وسـمح له بإجراء تجارب مهمة وحده، علـى الرغم من أنهم غالباً ما استخفوا به. ومع السنين ازدادت غيرة الأستاذ ديفي من العبقرية التي أظهرها مسـاعده الشاب، النجم الصاعد في دوائر التجارب العلمية، الذي غطّى في النهاية على شهرة ديفي نفسه. وبعد وفاة ديفي عام 1829 أصبح فارادي حرا ليقوم بسلسلة من الاختراقات المذهلة التي قادت إلى صنع مولّدات يمكنها أن تزوّد مدنا بكاملها بالطاقة، وأن تغير مسار الحضارة العالمية.

كان المفتـاح لأعظم اكتشـافات فارادي هو «حقول القـوة». إذا وضع شـخص برادة حديد فوق مغناطيس يجد أن البرادة تشـكل نموذجا يشبه بيت العنكبوت يملأ المكان بكامله. هذه الخطوط هي خطوط القوة لفارادي التي تصف تخطيطيا اختراق حقول القوة الكهربائية والمغناطيسية للمكان. لو خطّط المرء حقول المغناطيسـية للأرض، على سبيل المثال، فسيجد أن الخطوط تصدر من منطقة القطب الشمالي ثم ترتد إلى الأرض في منطقة القطب الجنوبي. وبالمثل، إذا رسم المرء خطوط الحقل الكهربائي لقضيب مانع للصواعق خلال حدوث صاعقة فسـيجد أن خطوط القوة تتركز عند قمـة القضيب. إن المكان الفارغ، بالنسـبة إلى فـارادي، ليس فارغا على الإطلاق، لكنه مملوء بخطوط القوة التي يمكنها تحريك الأشـياء البعيدة. (بسبب فقر فارادي الشديد في صباه، فقد كان أميا بالرياضيات، ونتيجة لذلك لم تكن دفاتره زاخرة بالمعادلات الرياضية بل بالأشـكال المرسـومة باليد لخطـوط القوة هذه. ومن المفارقة أن افتقاره لتعلم الرياضيات قاده إلى صنع تلك الأشـكال الجميلـة من خطوط القوة التـي توجد الآن في كتـب للفيزياء. وفي العلم غالبا ما تكون صورة فيزيائية أهم من العلاقات الرياضية التي تصفها).

خمّن المؤرخون حول الطريقة التي قادت فارادي إلى اكتشـــاف حقول القـــوة، التي تعدّ أحد أهم المفاهيم في العلم كله. وفي الحقيقة فقد كتب النتـــاج الكامل للفيزياء الحديثة كلها بلغة حقول فارادي. وفي عام 1831 حقق فارادي الاختراق الرئيس بخصوص حقول القوة الذي غيّر مســـيرة الحضارة للأبد. ففي أحد الأيام كان يحرّك مغناطيســـا صغيرا فوق ملف من الأســـلاك ولاحظ أنه كان قادرا على توليد تيار كهربائي في الســـلك من دون أن يلمســـه على الإطلاق. وهذا يعني أن الحقل المغناطيسي غير المرئي يمكنه أن يدفع الإلكترونات في ســـلك عبـــر الفضاء الفارغ خالقا تيارا كهربائيا.

كانت «حقول قوة» فارادي، التي اعتقد فيما مضى أنها رســـوم خاملة لا فائدة منها، قوى مادية حقيقية يمكنها تحريك الأجسام وتوليد الطاقة. ومن المحتمل أن الضوء الذي تســـتخدمه لقـــراءة هذه الصفحة اليوم ربما اســـتمد طاقته بفضل اكتشـــاف فارادي للكهرومغناطيســـية. فالمغناطيس الـــدوار يخلق حقل قوة يدفع الإلكترونات في ســـلك ويجعلها تتحرك على شـــكل تيار كهربائي. ويمكن بعد ذلك اســـتخدام هذا التيار الكهربائي في الســـلك لإضاءة مصباح. ويســـتخدم المبدأ نفسه لتوليد الكهرباء التي تمد مدن العالم بالطاقة. فالماء الذي يعبر سدا على سبيل المثال يدوّر مغناطيسا ضخما في عنفة مما يدفع الإلكترونات في ســـلك مشـــكّلا تيارا كهربائيا يرسل خلال أسلاك التوتر العالي إلى بيوتنا.

بعبـــارة أخرى فإن حقـــول قوة فـــارادي هـي القـــوى التي تدفع الحضارة الحديثة مـــن البلدوزر الكهربائي إلى حاســـبات وإنترنت وهواتف اليوم النقالة.

ألهمـــت حقول قـــوة فارادي خيـــال الفيزيائيين لقـــرن ونصف القرن. واستلهم آينشتاين في كتابة نظريته في الجاذبية مصطلحات حقول القوة. لقـــد تحفّزت أنا أيضا بعمل فارادي. ومنذ ســـنوات كتبـــت بنجاح نظرية الأوتار الفائقة بحسب حقول القوة لفارادي، وبالتالي أسّست نظرية الأوتار الفائقة. وعندما يقول شخص في الفيزياء «إنه يفكر على شاكلة خط قوة»، فإنه بذلك يعبّر عن إعجاب ومديح.

القوى الأربع

خلال الألفي عام الماضية كان أحد أهم اكتشافات الفيزياء العظيمة هو عـــزل القوى الأربع التي تضبط العالم، وتمييز بعضها عن البعض. ويمكن وصفها كلها بلغة الحقول التي قدّمها فارادي. ولكن لســـوء الحظ لا تمتلك أي منهـــا خصائص حقـــول القوة التي وصفت فـــي معظم قصص الخيال العلمي. هذه القوى هي:

1 - الجاذبية

هي القـــوة الصامتة التـــي تحفظ أقدامنـــا على الأرض وتمنـــع الأرض والنجوم مـــن التفكك وتحافـــظ على اجتماع النظام الشمسي والمجرة بعضها مع بعض. ومن دون الجاذبية فســـنرمى من الأرض إلـــى الفضاء بمعـــدل 1000 ميل في الســـاعة من قبل الكوكب الدوار. المشـــكلة هـــي أن للجاذبية خصائص معاكســـة لحقل القوة في قصـــص الخيال العلمي. فالجاذبية قوة جاذبة وليســـت طاردة؛ وهي قوة ضعيفة جدا نســـبيا، وتعمل على مدى مسافات فلكية ضخمة جدا. بعبارة أخرى، هـــي تقريبا عكس الحاجز النحيف والمنبســـط وغير القابـــل للاختراق الـــذي يقرأ المرء عنه فـــي قصص الخيال العلمـــي أو الذي يراه في أفلام الخيال العلمي. على ســـبيل المثال، يتطلب جذب ريشـــة إلى الأرض قوة الجاذبية للأرض بكاملها، بينما نستطيع أن نعاكس قوة الجاذبية الأرضية برفع الريشة بواسطة إصبع. ويمكن لعمل إصبعنا أن يعاكس جاذبية كوكب بأكمله يزن أكثر من 6 تريليونات تريليون كيلوغرام.

2 - الكهرطيسية (EM)

هي القوة التي تنير مدننا. أشـــعة الليزر والراديو والتلفاز والإلكترونيـــات الحديثة والحاســـبات والإنترنـــت والكهرباء والمغناطيســـية - كلها نتائج القوة الكهرطيســـية. وربما كانت

أكثر القوى التي سخّرها الإنسان فائدة. وعلى النقيض من الجاذبية، يمكنها أن تكون جاذبة وطاردة. ومع ذلك فهناك أسباب عدة لكونها غير مناسبة كحقل قوة. يمكن أولا تحييدها بسهولة. ويمكن للبلاستيك والعوازل الأخرى، على سبيل المثال، أن تخترق بسهولة حقلا كهربائيا أو مغناطيسيا قويا. ويمكن لقطعة من البلاستيك ملقاة في حقل مغناطيسي أن تمر خلاله. وثانيا تعمل الكهرطيسية خلال مسافات شاسعة ولا يمكن تركيزها بسهولة على مستوى. وتوصّف قوانين القوة الكهرطيسية بمعادلات جيمس كلارك ماكسويل، ولا تسمح تلك المعادلات بحقول القوة كحلول لها.

3 و4 - القوة النووية القوية والضعيفة:

القوة النووية الضعيفة هي قوة التخافت الإشعاعي. وهي القوة التي تسخّن مركز الأرض المشع. وهي القوة وراء البراكين والزلازل والانزياح القاري. وتربط القوة النووية القوية نواة الذرة بعضها ببعض. وتنشأ طاقة الشمس والنجوم المسؤولة عن إنارة الكون من القوة النووية. ومشكلة القوة النووية هي أنها ذات مجال قصير، وتعمل بشكل رئيس ضمن بعد النواة. ولأنها مرتبطة بشدة بخصائص النواة فمن الصعب جدا التحكم فيها. وفي الوقت الحاضر فإن الطريقة الوحيدة لدينا للتحكم في هذه القوة هي تفجير الجسيمات تحت الذرية أو تفجير القنابل الذرية.

وعلى الرغم من أن حقول القوة المستخدمة في قصص الخيال العلمي قد لا تلتزم بقوانين الفيزياء المعروفة، فإنه لاتزال هناك ثغرات قد تجعل توليد حقل قوة كهذا ممكنا. أولا يمكن أن تكون هناك قوة خامسة لا تزال غير مرئية في المختبر. وقد تعمل مثل هذه القوة على سبيل المثال على مسافة عدة إنشات إلى أقدام فقط، بدلا من مسافات فلكية. (لكن المحاولات الأولى لقياس وجود قوة خامسة كهذه أعطت نتائج سلبية).

وثانيا، من الممكن اســتخدام البلازما لتحاكي بعض خصائص حقل القوة. فالبلازما هي «الحالة الرابعة للمادة» بعد الصلب والســائل والغاز التي تشكل الحالات الثلاث المعهودة للمادة. لكن الشكل الأكثر شيوعا للمادة في الكون هو البلازما، التي هي غاز من الذرات المتأينة. ولأن ذرات البلازما منفصلة بعضها عن بعض، حيث تنتزع الإلكترونات من الذرة، فإن الذرات مشــحونة كهربائيا ويمكن التحكم فيها بسهولة بواسطة الحقول الكهربائية والمغناطيسية.

والبلازما هي الشــكل الأكثر وفرة للمادة المرئية في الكون، مشــكّلة الشمس والنجوم والغاز بين المجرات. ليست البلازما مألوفة لدينا لأنها لا توجد إلا نادرا على الأرض، لكننا نراها على شكل نور الصواعق والشمس وداخل تلفاز البلازما.

نوافذ البلازما

كما ذكر ســابقا، إذا سخن غاز إلى درجة حرارة كافية تنشأ بلازما يمكن تشــكيلها وقولبتها بحقول كهربائية ومغناطيســية. يمكن على ســبيل المثال تشكيلها على شكل صفيحة أو نافذة. وأكثر من ذلك، يمكن استخدام « نافذة البلازمــا » هذه لفصل الفراغ عن الهــواء العادي. فمن حيث المبدأ، يمكن منع الهواء داخل ســفينة فضاء من التسرب إلى الفضاء الخارجي، وبالتالي خلق سطح فاصل ملائم وشفاف بين الفضاء الخارجي وسفينة الفضاء.

وقد استخدمت مثل هذه القوة في مسلسل ستار ترك التلفزيوني لفصل مينــاء النقل الذي يحتوي على مركبة نقــل صغيرة عن الفراغ في الفضاء الخارجي. ليست هذه الطريقة جيدة اقتصاديا لكنها وسيلة ممكنة.

اخترعت نافــذة البلازما من قبل الفيزيائي إدي هيرشــكوفيتش عام 1995 في مختبر بروكهافن الوطني في لونغ آيلاند بنيويورك. لقد طورها ليحل مشــكلة لحام المعادن باستخدام أشــعة إلكترونية. يستخدم اللحام بشــعلة الإســيتيلين تيارا من الغاز الســاخن لإذابة قطع معدنية، ومن ثم لحامهــا بعضها مع بعض. ويمكن لشــعاع من الإلكترونــات لحام المعادن بصورة أســرع وأنظف وأرخص مــن الطرق العادية. لكن مشــكلة اللحام بأشــعة إلكترونية هي أنــه يجب أن تجرى في الفراغ. هذا الشــرط غير ملائم لأنه يعني خلق حيز من الفراغ يمكن أن يكون بحجم غرفة بكاملها.

اختـــرع الدكتور هيرشـــكوفيتش نافـــذة البلازما ليحل هذه المشـــكلة. وبارتفـــاع 3 أقدام وقطر أقل من قدم واحد، تســـخن نافذة البلازما الغاز إلـــى 12000 °ف، خالقة بلازما تحصر بحقول كهربائية ومغناطيســـية. وتمارس هذه الجسيمات ضغطا، كما هي الحال بالنسبة إلى أي غاز، يمنع الهواء من الدخول إلى حيز الفراغ وبالتالي تعزل الهواء عن الفراغ. (عندما يستخدم غاز الأرغون في نافذة البلازما فإنه يتوهج بضوء أزرق، كما هي حال حقل القوة في مسلسل ستار ترك).

ولنافـــذة البلازما تطبيقات عديدة واســـعة في رحـــلات الفضاء وفي الصناعـــة. وفي حالات كثيرة تحتاج عمليـــات التصنيع إلى الفراغ لإجراء تصنيـــع ميكروي وحك جاف لأغراض صناعيـــة، لكن العمل ضمن الفراغ يمكـــن أن يكون مكلفا. بيد أنه مع نافذة بلازما يســـتطيع المرء أن يحصل على الفراغ بكلفة بسيطة بكبسة زر.

فهـل يمكن اســـتخدام نافذة البلازما أيضا كـــدرع لا تخترق؟ هل يمكنها تحمـــل صدمة من قذيفـــة مدفع؟ يمكن للمرء في المســـتقبل أن يتخيل نافذة بلازما بقوة أكبر، وبدرجة حرارة أعلى، كافيتين لتدمير القذائف أو تبخيرها. ولكن لصنع حقل قوة أكثر واقعية، كذلك الموجود في الخيال العلمي، سيحتاج المرء إلى مزيج من تقانات مرتبة على مستويات عدة. وقد لا يكون أي مستوى قويا بما يكفي لإيقاف قذيفة صاروخية، لكن قد يكون المجموع كافيا.

يمكن أن تكون الطبقة الخارجية نافذة بلازما مشـــحونة جيدا، ومســخنة لدرجات حرارة عالية بما يكفي لتبخير المعادن. ويمكن أن تكون الطبقة التالية ســـتارة من أشعة ليزرية ذات طاقة عالية. وستخلق هذه الستارة، التي تحتوي على آلاف الأشعة الليزرية المتقاطعة، شبكة تسخّن الأجسام التي تمر خلالها، مبخرة إياها فعلا. وسأناقش موضوع الليزر بتفصيل أكثر في الفصل التالي.

وخلف هذه الســـتارة الليزرية يمكن للمرء أن يتصور شـــبكة مصنوعة من « أنابيب كربون نانونية»، وهي أنابيب صغيرة جدا تصنع من ذرات كربون منفصلة بحيث تكون بثخن ذرة واحدة وأقوى من الفولاذ بمرات عدة. وعلى الرغم من أن المقياس العالمي الحالي لطول الأنبوب النانوي الكربوني هو 15 ملليمترا فقط، فإنـــه يمكن للمرء أن يتصور يوما نســـتطيع فيه تصنيع أنابيـــب نانوية كربونية

بطول عادي. وبافتراض أن من الممكن حياكة الأنابيب النانوية الكربونية على شكل شبكة، فمن الممكن تشكيل ستارة بقوة هائلة تستطيع أن تصد معظم الأجسام. وستكون هذه الستارة غير مرئية، لأن كل أنبوب كربون نانوي ذو بعد ذري، لكن الشبكة النانوية الكربونية ستكون أقوى من أي مادة عادية أخرى.

ولذا يمكن للمرء عبر مجموعة من نوافذ البلازما والأستار الليزرية والشاشات الكربونية النانوية أن يتخيل صنع حائط غير مرئي غير قابل للاختراق تقريبا بكل الوسائل.

ومع ذلك لن تحقق هذه الدرع متعددة الطبقات خصائص حقل القوة كلها كما هو في الخيال العلمي لأنها ستكون شفافة وبالتالي غير قادر على إيقاف شعاع الليزر. وفي معركة تجرى بالمدافع الليزرية ستكون الدرع متعددة الطبقات بلا فائدة.

ستحتاج الدرع إلى إيقاف شعاع ليزري إلى نوع متطور من «التلوين الضوئي» أيضا. وتستخدم هذه العملية في النظارات الشمسية التي تغمق ذاتيا بتعرضها إلى الإشعاع فوق البنفسجي. يقوم التلوين الضوئي على جزيئات يمكن أن توجد في حالتين على الأقل. في إحدى الحالتين يكون الجزيء شفافا، لكنه عندما يتعرض للإشعاع فوق البنفسجي فإنه يتغير فورا إلى الحالة الغامقة الثانية.

قد نتمكن يوما من استخدام التقانة النانوية لإنتاج مادة بمتانة الأنابيب الكربونية النانونية التي تستطيع تغيير خصائصها اللونية عندما تتعرض لأشعة الليزر. وبهذه الطريقة قد تستطيع الدرع أن توقف تيارا ليزريا كما يمكنها أن توقف حزمة من الجسيمات أو نارا من مدفع. ولكن لا توجد في الوقت الحالي أجهزة تلوين ضوئية يمكنها إيقاف أشعة الليزر.

الرفع المغناطيسي Maglev(*)

هناك مهمة أخرى في قصص الخيال العلمي لحقول القوة إضافة إلى حرفها لتيارات المدافع الشعاعية، وهي أن تعمل كمنصة تتحدى الجاذبية. ففي فيلم «العودة للمستقبل» يمتطي مايكل جي فوكس «لوحا

(*) Magnetic Levitation.

هوائيا» يشبه لوح التزلج عدا أنه يعوم فوق الطرق. مثل هذا الجهاز المضاد للجاذبية مستحيل بحسب قوانين الفيزياء كما نعرفها اليوم (وكما سنرى في الفصل العاشر). لكن قد تصبح السيارات الطائرة والألواح الطائرة المحمولة مغناطيسيا حقيقة في المستقبل، مما يعطينا القدرة على رفع أجسام ضخمة كما نشاء. وفي المستقبل إذا أصبحت «الناقلات الفائقة عند درجة حرارة الغرفة» حقيقة فقد يستطيع المرء رفع أجسام باستخدام حقل القوة المغناطيسية.

لو وضعنا قضيبين مغناطيسيين أحدهما بالقرب من الآخر بحيث تكون الأقطاب الشمالية متقابلة فسوف يصد كل مغناطيس الآخر. (لو أدرنا المغناطيس بحيث يكون القطب الشمالي قريبا من القطب الجنوبي للمغناطيس الآخر فسوف يجذب كل مغناطيس الآخر). ويمكن استخدام مبدأ تنافر الأقطاب الشمالية ذاته لرفع أثقال ضخمة من الأرض. ومنذ فترة تبني عدة دول قطارات الرفع المغناطيسي (قطارات ماغليف Maglev) التي تعوم فوق خطوط السكك الحديدية مباشرة باستخدام مغانط عادية. وبما أن احتكاكها معدوم فيمكنها أن تصل إلى سرعات قياسية بعومها فوق مخدة هوائية.

في عام 1984 بدأ أول نظام ماغليف تجاري في العالم العمل في المملكة المتحدة لربط مطار برمنغهام الدولي بمحطة قطار برمنغهام الدولية. وصنعت قطارات ماغليف أيضا في ألمانيا واليابان وكوريا، على الرغم من أن معظمها لم يصمم لسرعات عالية. إن قطار ماغليف التجاري الأول الذي يسير بسرعات عالية هو الجزء الأولي العامل (IOS) على الخط التجريبي في شنغهاي، الذي يسير بسرعة تبلغ 268 ميلا في الساعة. وقد وصلت سرعة قطار ماغليف الياباني في مقاطعة يامانشي إلى 361 ميلا في الساعة، وهي أسرع من قطارات العجلات العادية.

لكن أجهزة الماغليف هذه مكلفة جدا. إن إحدى الطرق لزيادة الكفاءة هي استخدام ناقلات فائقة تفقد مقاومتها الكهربائية كلها عندما تبرد إلى درجة حرارة قريبة من الصفر المطلق. اكتشفت الناقلية الفائقة عام 1911

من قبل هايك أونس(*). إذا برّدت مواد معينة إلى أقل من 20K(**) فوق الصفر المطلق فسوف تختفي المقاومة الكهربائية كلها. عادة عندما نخفض درجة حرارة معدن، تتناقص مقاومته بالتدريج (لأن الاهتزازات العشوائية، للذرة تعيق تدفق الإلكترونات في السلك، وبإنقاص درجة الحرارة تخفض هــذه الحركات العشــوائية وبالتالي تتدفق الكهربــاء بمقاومة أقل). لكنه اكتشف لدهشته الشديدة أن مقاومة بعض المواد تنخفض فجأة إلى الصفر عند درجة حرارة حرجة.

أدرك الفيزيائيــون فورا أهمية هذه النتيجة. فخطوط نقل الكهرباء تفقد كميــة مهمة من الطاقة أثناء نقل الكهرباء لمســافات طويلــة. ولكن لو أمكن التخلص من المقاومــة كلها فيمكن نقل الطاقة الكهربائية مجانا تقريبا. وفي الحقيقة إذا سرت الكهرباء في ملف من الأسلاك فسوف تستمر في الدوران لملايين الســنين من دون أي اســتهلاك للطاقة. وأبعد مــن ذلك، يمكن صنع مغانط بطاقة هائلة بجهد قليل باستخدام هذه التيارات الكهربائية الضخمة. وبهذه المغانظ يمكن للمرء أن يرفع أثقالا ضخمة بسهولة.

وعلــى الرغم من هذه القوى الهائلة، فالمشــكلة بالنســبة إلى الناقلية الفائقة هي أنه من المكلف جدا غمر مغانط ضخمة في أوعية تحوي سائلا مبــردا لدرجة حرارة منخفضة جدا. يتطلــب الأمر مصانع تبريد ضخمة للحفاظ على الســائل مبردا بشكل فائق، مما يجعل تصنيع مغانظ بناقلية فائقة أمرا مكلفا للغاية.

لكــن قد يتمكــن الفيزيائيون يوما مــن صنع «ناقل فائــق عند درجة حرارة الغرفة»، والذي ســيكون بمنزلة الكأس المقدسة(***) بالنسبة إلى فيزيائيي الأجسام الصلبة. وسيطلق اختراع نواقل فائقة عند درجة حرارة الغرفــة في المختبر ثورة صناعية ثانية. وســتصبح الحقول المغناطيســية

(*) Heike Kamerlingh Onnes هو عالم فيزياء هولندي (1853 - 1926)، عرف باكتشافاته في مجال تقنيات التبريد الشديد، وهو أول من أسال غاز الهيليوم. حاز جائزة نوبل في الفيزياء العام 1913 [المحررة].

(**) كلفن K من وحدات قياس درجة الحرارة، وقد سميت بذلك نسبة إلى الفيزيائي البريطاني اللورد كلفن [المحررة].

(***) تذهب إحدى الأســاطير إلى أن الكأس المقدسة (Holy Grail) هي الكأس التي جمعت بها دماء المســيح المتســاقطة على الصليب، وأن لهذه الكأس قوة عظيمة جعلتها هدفا لفرســان المائدة المستديرة (جماعة أسسها الملك آرثر في نهاية القرن الخامس الميلادي). وتستخدم العبارة كناية عن هدف عظيم يسعى المرء إلى تحقيقه [المحررة].

القوية القادرة على رفع السيارات والقطارات رخيصة جدا بحيث تصبح السيارات الطائرة مجدية اقتصاديا. وبنواقل فائقة عند درجة حرارة الغرفة قد تصبح السيارات الطائرة المثيرة التي ظهرت في أفلام **العودة للمستقبل وتقرير الأقلية وحرب النجوم**(*) حقيقة واقعة.

ويمكن للمرء من حيث المبدأ أن يلبس حزاما مصنوعا من مغانط فائقة الناقلية تستطيع رفعه عن الأرض. وبمثل هذا الحزام يمكن له أن يطير في الهواء كالسوبرمان. إن النواقل الفائقة عند درجة حرارة الغرفة مثيرة جدا بحيث إنها تظهر في العديد من روايات الخيال العلمي (مثل سلسلة رينغورلد التي ألّفها لاري نيفين عام 1970).

بحث الفيزيائيون لعقود عن نواقل فائقة عند درجة حرارة الغرفة من دون أي نجاح. كان البحث عنها بطريقة التجربة والخطأ، باختبار مادة بعد أخرى، عملية صعبة. ولكن اكتشف عام 1986 صنف جديد من المواد دُعي «النواقل الفائقة عند درجة حرارة مرتفعة» حيث أصبحت هذه المواد نواقل فائقة عند نحو 90 درجة فوق الصفر المطلق مولّدة إثارة كبيرة في عالم الفيزياء. وبدا أن بوابات الحد من الفيضان قد فتحت. شهرا بعد شهر، تسابق الفيزيائيون لتحطيم الرقم القياسي العالمي التالي للناقل الفائق. وبدا للحظة قصيرة أن إمكانية تحضير نواقل فائقة عند درجة حرارة الغرفة ستنتقل من قصص الخيال العلمي إلى غرف المعيشة. ولكن بعد سنوات عدة من التحرك بسرعة عالية جدا بدأ البحث في النواقل الفائقة عند درجة حرارة عالية يتباطأ.

وحاليا فإن الرقم القياسي العالمي لناقل فائق عند درجة حرارة عالية هو لمادة دعيت زئبق ثاليوم باريوم كالسيوم أكسيد النحاس، الذي يصبح ناقلا فائقا عند درجة حرارة 138° K (- 135°م). وهذه الحرارة العالية نسبيا لاتزال بعيدة جدا عن درجة حرارة الغرفة. لكن هذا الرقم القياسي 138° K لا يزال مهما. فالنتروجين يتميع عند 77° K وتبلغ كلفة النتروجين السائل كلفة الحليب العادي. وبالتالي يمكن استخدام النتروجين السائل العادي لتبريد هذه النواقل الفائقة عالية درجة الحرارة بشكل رخيص نسبيا. (بالطبع لا تحتاج النواقل الفائقة عند درجة حرارة الغرفة أي تبريد).

(*) Back To The Future. Minority Report. Star Wars.

ومـن المحـرج أنه لا توجد إلـى الآن نظرية تفسـر خصائص النواقل الفائقة عاليـة درجة الحرارة هذه. وهناك جائزة نوبـل تنتظر الفيزيائي المبدع الذي يسـتطيع تفسـير طريقة عمل النواقل الفائقة مرتفعة درجة الحـرارة. (تصنع النواقل الفائقة مرتفعة درجـة الحرارة من ذرات مرتبة فـي طبقات محددة. ويرى العديد مـن الفيزيائيين أن هذا الترتيب للمادة السيراميكية على طبقات يجعل الإلكترونات تتدفق بحرية ضمن كل طبقة خالقا ناقلا فائقا. لكن كيف يتم ذلك بالضبط لا يزال سرا).

ونظـرا إلـى هذا النقص في المعرفـة يلجأ الفيزيائيون لسـوء الحظ لطريقة التجربة والخطـأ للبحث عن نواقل فائقة مرتفعة درجة الحرارة. وهـذا يعنـي أن الناقل الفائق الأسـطوري عند درجة حـرارة الغرفة قد يكتشـف غدا أو ربما في العام المقبل أو قد لا يكتشـف على الإطلاق. لا أحد يعلم متى ستكتشف هذه المادة، أو إذا كانت ستكتشف على الإطلاق.

لكن لو اكتشـفت النواقـل الفائقة عند درجة حرارة الغرفة فسـتولّد موجـة عارمة من التطبيقات التجارية. وقد تصبح الحقول المغناطيسـية الأقـوى بمليون مـرة من الحقل المغناطيسـي الأرضي (الـذي يبلغ 0.5 غوص)(*) أمرا عاديا.

تدعى إحدى الخصائص الشـائعة للناقلية الفائقة بتأثير ميسنر. إذا وضعت مغناطيسـا فوق ناقل فائق فسيرتفع المغناطيس كأنه مثبّت بقوة غير مرئية. (سـبب تأثير ميسـنر هو أن للمغناطيس تأثير خلق مغناطيس آخر على شـكل «خيال مرآة» له ضمن الناقل الفائق، بحيث يصـد كل مـن المغناطيس الأصلـي والمغناطيس المناظـر له أحدهما الآخر. والطريقة الأخرى للنظر إلى هذا هو أن الحقول المغناطيسية لا تستطيع اختراق ناقل فائق. وبدلا من ذلك يطرد الناقل الفائق الحقول المغناطيسية. لذا إذا وضع مغناطيس فوق ناقل فائق فإن خطوط قوته تطرد من قبل الناقـل الفائق. وبالتالي تدفع خطوط القوة المغناطيس رافعة إياه نحو الأعلى).

(*) غـوص أو غـاوس (Gauss) هـو ثانيـة معـادلات ماكسـويل التـي تصـف سـلوك الكهرومغناطيسيات وتوليدها. وقد أسسـها عالم الرياضيات الألماني كارل فريدريش غاوس (1777-1855) [المحررة].

وباستخدام تأثير ميسنر يمكن للمرء أن يتصوّر مستقبلا تصنّع فيه الطرق السريعة من المواد السيراميكية الخاصة هذه. وبالتالي تستطيع المغانط الموضوعة في أحزمتنا أو في عجلات سياراتنا أن تمكننا من العوم إلى قصدنا، من دون احتكاك أو ضياع في الطاقة، كأن الأمر سحر.

يعمل تأثير ميسنر على المواد المغناطيسية كالمعادن فقط. لكن من الممكن أيضا استخدام المغانط فائقة الناقلية لرفع مواد غير ممغنطة تدعى بارامغناطيسية وديامغناطيسية. هذه المواد لا تمتلك خصائص مغناطيسية خاصة بها: إنها تمتلك خصائصها المغناطيسية فقط بوجود حقل مغناطيسي خارجي. تجذب البارامغانظ بمغناطيس خارجي بينما تصد الديامغانط بمغناطيس خارجي. فالماء على سبيل المثال ديامغناطيس. وبما أن الأشياء الحية جميعها مصنوعة من الماء فيمكنها أن ترتفع بوجود حقل مغناطيسي قوي. وفي حقل مغناطيسي بقوة 15 تسلا (*) 30 الف مرة قوة الحقل المغناطيسي الأرضي) رفع العلماء حيوانات صغيرة كالضفادع. ولكن إذا أضحت النواقل الفائقة عند درجة حرارة الغرفة حقيقة واقعة، فمن الممكن رفع أجسام غير مغناطيسية ضخمة أيضا من خلال خصائصها الديامغناطيسية في الختام لا تطابق حقول القوة كما وصفت بشكل شائع في الخيال العلمي وصف القوى الأربع في الكون. ومع ذلك فقد يكون من الممكن تحريض العديد من خصائص حقول القوة باستخدام درع من عدة طبقات مؤلفة من نوافذ بلازمية وستائر ليزرية وأنابيب كربونية نانوية ومحللات ضوئية. لكن تطوير مثل هذه الدرع قد يتم بعد عدة عقود أو حتى بعد قرن في المستقبل. وإذا اكتشفت نواقل فائقة عند درجة حرارة الغرفة فقد يستطيع المرء استخدام حقول مغناطيسية قوية لرفع السيارات والقطارات وجعلها تعوم في الهواء كما في قصص الخيال العلمي.

وبالنظر إلى هذه الاعتبارات فسأصنف حقول القوة على أنها مستحيلات من الصنف الأول أي أنها شيء مستحيل بتقانة اليوم، لكنها ممكنة بطريقة معدّلة خلال قرن أو ما يقاربه.

(*) Tesla، هي وحدة قياس المجال المغناطيسي، وتساوي 10 آلاف غاوس. سميت بذلك نسبة إلى العالم الأمريكي من أصل نمساوي نيكولا تسلا (1856 - 1943) [المحررة].

2

الحجب عن الرؤية

لا يمكنك الاعتماد على عينيك عندما يفتقر خيالك إلى التركيز

مارك توين

في مسلسل **ستار ترك، الرحلة إلى الوطن**، يختطف الطرّاد الحربي كلنغون من قبل ملاحي السفينة إنتربرايز. وعلى النقيض من سفن النجوم لاتحاد الكواكب، فإن سفن نجوم إمبراطورية كلنغون تمتلك «جهاز حجب» سريا يحجبها عن الضوء أو الرادار، بحيث تستطيع هذه السفن التسلل خلف سفن اتحاد الكواكب الفضائية والإيقاع بها بحرية. وبالتالي فقد أعطى جهاز الحجب هذا إمبراطورية كلنغون ميزة استراتيجية على اتحاد الكواكب.

«بينما من الممكن الحصول على معطف إخفاء حقيقي بحسب قوانين الفيزياء، كما يوافق معظم الفيزيائيين الآن، هناك عدد من العقبات الفنية الصعبة قبل أن تطور هذه التقانة لتعمل على الضوء المرئي بدلا من الإشعاع الميكروي فقط».

المؤلف

هل مـــن الممكن حقا صنـــع جهاز كهذا؟ ظل الحـجـــب عن الرؤية إحـــدى عجائب الخيال العلمي والأســـاطير منذ رواية **الرجـل الخفي** The Invisible Man [*]، إلـى معطف الحجب السـحري في روايات هاري بوتر، أو الخاتم في ســيد الخـــواتم. ومع ذلك بقي الفيزيائيون لقـــرن على الأقل يرفضون إمكانية وجود معاطف الحجب ويصرّحون علنـــا بأنها غير ممكنة: فهي تتناقض مع قوانين البصريات ولا تنطبق على أي من الخصائص المعروفة للمادة.

لكن قد يصبح المســتحيل ممكنا. تجبرنا التطورات الحديثة في مجال «أشباه المادة metamaterial» على إجراء مراجعة رئيسة لموضوع البصريات فـــي المراجع العلميـــة. وقد بنيت نماذج أولية حقيقيـــة لمثل هذه المواد في المختبر بحيث تجعل المرئي محجوبا، مثيرة اهتماما شديدا من قبل وسائل الإعلام والصناعة والجيش.

الحجب عن الرؤية عبر التاريخ

ربما كان الحجب عن الرؤية إحدى أقدم الأفكار في الأساطير القديمة. ومنذ بدء التاريخ المســجل تخوّف الناس الذين يوجدون بمفردهم في ليلة مرعبة من أرواح الموتى التي تحوم في الظلام. واســتطاع البطل الإغريقي بيرسيوس ذبح الشريرة ميدوسا متسلحا بطاقية الإخفاء. وحلم الجنرالات العســكريون بجهاز الحجب عن الرؤية. فإذا أصبح المرء غير مرئي، يمكنه بســهولة اختراق خطوط العدو ومفاجآته. ويســتطيع المجرمون استخدام الحجب عن الرؤية للقيام بسرقات مثيرة.

مـــارس الحجب عن الرؤية دورا محوريا فـــي نظرية أفلاطون [1] حول القيـــم والأخـــلاق. ويصف أفلاطون فـــي تحفته الفلســفية «الجمهورية» أســـطورة خاتم جايجس. يدخل الراعي الفقير والأمين جايجس من مدينة ليديـــا إلى كهف مخفي ويجد قبرا يحتوي على جثـــة تلبس خاتما ذهبيا. يكتشـــف جايجس أن لهذا الخاتم الذهبي قوة ســـحرية تجعله غير مرئي.

(*) هـــي رواية في الخيال العلمي نشـــرت في العام 1897 لمؤلفها إتـــش. جي. ويلز (1866 - 1946)، وتحكي قصة عالم يخفي نفســه في محاولة لاختراع وسيلة تجعل الأجسام غير مرئية. وللمؤلف أيضا روايتان شهيرتان هما «آلة الزمن» و«جزيرة الدكتور مورو» [المحررة].

وحالا يستخدم هذا الراعي الفقير القوة التي يعطيها هذا الخاتم له. فبعد أن يتسلل إلى قصر الملك يستخدم جايجس قوته لإغواء الملكة، وبمساعدتها يغتال الملك ليصبح الملك التالي لليديا.

كانت العبرة التي أراد أفلاطون أن يستنتجها هي أنه لا أحد يستطيع مقاومة إغراء القدرة على السرقة والقتل كما يريد. فالبشر كلهم معرضون للفساد. والأخلاق هي بناء اجتماعي مفروض من خارج المرء. وقد يبدو رجل ما أخلاقيا أمام الناس للحفاظ على سمعته في الأمانة والاستقامة، ولكنه ما إن يمتلك القدرة على الاحتجاب عن الرؤية، فلا يمكنه مقاومة استخدام مثل هذه القوة. (يعتقد البعض أن هذه القصة الأخلاقية كانت الملهم لثلاثية جي.آر.آر. تولكين **سيد الخواتم**، حيث يصبح الخاتم الذي يمنح لابسه الاحتجاب عن الرؤية مصدرا للسوء أيضا).

والحجب عن الرؤية هو أيضا طريقة شائعة لكتابة العقد في قصص الخيال العلمي. ففي مسلسل فلاش غوردون في الثلاثينيات، أصبح فلاش غير مرئي ليهرب من فرقة إعدام منغ الذي لا يرحم. وفي روايات هاري بوتر وأفلامه، يلبس هاري معطفا خاصا يتيح له التجول في قلعة هوغوارت من دون أن يكتشف.

يضع إتش. جي. ويلز كثيرا من أفكاره الخيالية بشكل متناسق في روايته الكلاسيكية **الرجل الخفي**، حيث يكتشف طالب طب بالمصادفة قوة البعد الرابع ويصبح غير مرئي. ولسوء الحظ، فإنه يستخدم هذه القوة الهائلة لمنفعته الشخصية، ويبدأ موجة من الجرائم الحقيرة، ويموت أخيرا وهو يحاول يائسا الهرب من الشرطة.

معادلات ماكسويل وسر الضوء

لم يمتلك الفيزيائيون فهما ثابتا لقوانين الضوء حتى ظهر عمل الفيزيائي الإسكتلندي جيمس كلارك ماكسويل، أحد عمالقة الفيزياء في القرن التاسع عشر. كان ماكسويل، من أحد الوجوه، نقيضا لمايكل فارادي. فبينما كان لفارادي غريزة ممتازة للتجريب، ولكن من دون تدريب منتظم

على الإطلاق، كان ماكسـويل المعاصر لفارادي أسـتاذا فـي الرياضيات الحديثة. لقد بـرع كطالب للفيزياء الرياضية فـي كامبردج، حيث أجرى إسحق نيوتن عمله منذ قرنين قبل ذلك.

اخترع نيوتن علم التكامل الـذي عبر عنه بلغة «المعادلات التفاضلية»، التي تصف كيف تخضع الأجسـام بشـكل ناعم لتغيرات متناهية الصغر في الزمان والمكان. ويمكن التعبير عن حركة الأمواج والسـوائل والغازات وقذائـف المدافع كلهـا بلغة المعادلات التفاضلية. شـرع ماكسـويل يعمل بهدف واضح، وهو التعبير عن الاكتشـافات الثورية لفارادي وحقول قوته باستخدام معادلات تفاضلية دقيقة.

بدأ ماكسـويل باكتشاف فارادي الذي يقول إن حقول القوة يمكن أن تنقلب إلى حقول مغناطيسـية والعكس صحيح. أخذ ماكسويل أوصاف فارادي لحقول القوة وأعاد كتابتها باللغة الدقيقة للعلاقات التفاضلية، منتجا أحد أهم سلسلة من المعادلات في العلم الحديث. وهي عبارة عن سلسلة من ثمانية معادلات تفاضلية معقدة. وعلى كل فيزيائي ومهندس أن يبذل جهدا كبيرا لفهم الكهرطيسية في المدرسة الثانوية.

ثم سـأل ماكسويل نفسه السـؤال المهم: إذا كانت الحقول المغناطيسية تتحـول إلى حقول كهربائية والعكس صحيح، مـا الذي يحدث إذا انقلبت إحداها إلى الأخرى باسـتمرار بنموذج لا ينتهي؟ اكتشف ماكسويل أن هذه الحقول الكهرومغناطيسية ستخلق أمواجا تشبه أمواج المحيط. ولدهشته، فقد اكتشف أن سرعة هذه الأمواج تبلغ سرعة الضوء! وفي العام 1864، بعد اكتشـافه هذه الحقيقة، تنبأ بأن «هذه السرعة قريبة جدا من سرعة الضوء بحيث يبدو أن لدينا سـببا قويا للاسـتنتاج أن الضوء نفسه... هو تموج كهرطيسي».

ربما كان هذا أحد أعظم الاكتشـافات في تاريخ البشرية. فلأول مرة اتضـح أخيرا سـر الضوء. أدرك ماكسـويل فجأة أن كل شـيء من لمعان أشعة الشمس إلى توهج الشمس الغاربة والألوان الباهرة لقوس قزح وقبة النجوم في السـماء يمكن وصفه بالأمواج التي كان يرسـمها على صفحة من الورق. وندرك اليوم أن الطيف الكهرطيسـي بكامله، من الرادار حتى

التلفاز والأشـــعة تحت الحمراء والضوء المرئي والأشـــعة فوق البنفسجية وأشـــعة إكس والأشعة الميكروية وأشعة غاما، ليست سوى أمواج ماكسويل، والتي هي بدورها حقول قوة فارادي المتموجة.

وتعليقـــا على أهمية معادلات ماكســـويل، كتب آينشـــتاين يقول: «إنها الأعمق والأكثر فائدة التي شهدها علم الفيزياء منذ عهد نيوتن».

(توفي ماكسويل أحد أعظم فيزيائيي القرن التاسع عشر بصورة مأساوية في ســـن مبكرة، عن ثمانية وأربعين عاما، من ســـرطان المعدة، وربما بالمرض نفســـه الذي قتل أمه في الســـن نفســـها. ولو أنه عاش لفتـــرة أطول فلربما اكتشف أن معادلاته سمحت بتشويهات الزمان - مكان التي قادت مباشرة إلى النظرية النسبية لآينشتاين. ومن المدهش حقا أن ندرك أنه لو عاش ماكسويل فترة أطول فلربما اكتشف النسبية في زمن الحرب الأهلية الأمريكية).

تقدم نظرية ماكســـويل في الضوء والنظرية الذرية تفســـيرات بسيطة للبصريات وحجب الرؤية. في الصلب تكون الذرات محشوة بشكل لصيق، بينمـــا تكون الجزيئات في غاز أو ســـائل أكثر تباعدا. لـــذا فمعظم المواد الصلبة حاجبة للضوء لأن أشعة الضوء لا تستطيع المرور من خلال الشبكة الكثيفة للذرات في الصلب، والتي تعمل كحائط من الطوب. أما الســـوائل والغازات فهي على النقيض من ذلك، شـــفافة، لأن الضوء يســـتطيع المرور بســـهولة أكبر بين الفراغات الواســـعة بين الذرات، وهي فراغات أكبر من طـــول موجة الضوء المرئي. على ســـبيل المثال، فالمـــاء والكحول والأمونيا والأســـيتون وفوق أكســـيد الهيدروجين والغازولين وما شـــابه ذلك شفافة كلها كما هي حال الغازات مثل الأكســـجين والهيدروجين والنتروجين وثاني أكسيد الكربون والميثان وما شابهها.

هنـــاك بعض الاســـتثناءات المهمة لهـــذه القاعدة. فالعديـــد من المواد البلورية صلب وشـــفاف. فالذرات في بلورة مرتبة في بنية شبكية محددة، وموضوعة في صفوف منتظمة، تفصلها فراغات محددة. وبالتالي، هناك عدد من الممرات يمكن لشـــعاع الضوء أن يمر منها عبر الشـــبكة البلورية. ولذلـــك، وعلى الرغم من أن البلورة مرتبة بشـــكل لصيق كأية مادة صلبة، فإن الضوء يستطيع أن يجد طريقه خلالها.

وقد يصبح جسم صلب شفافا في ظروف معينة حتى لو رتبت الذرات عشوائيا. ويمكن فعل ذلك بتسخين بعض المواد إلى درجة حرارة عالية ثم تبريدها بسرعة. فالزجاج، على سبيل المثال، صلب له خصائص عدة تشبه السائل بسبب الترتيب العشوائي للذرات. ويمكن لبعض السكاكر أن تصبح شفافة بالطريقة نفسها أيضا.

مـــن الواضح أن الحجب عن الرؤية خاصية تنشـــأ على المســـتوى الذري من خلال معادلات ماكسويل، وبالتالي سيكون من الصعب جدا، إن لم يكن من المستحيل، نسخ صورة مطابقة باستخدام الطرق العادية. لجعل هـــاري بوتر غير مرئي على المرء أن يميّعـــه أو يغليه ليتبخر، أو يبلوره ثم يســـخنه مرة أخرى ثم يبرده، ومـــن الصعب تحقيق ذلك كله حتى بالنســـبة إلى ساحر. لقد حاول العســـكريون بسبب عدم قدرتهم على خلق طائـــرات مخفية أن يفعلوا البديل الأفضل لذلك: خلق تقانة التســـلل stealth التي تخفي الطائرات عن الرادار. تعتمد هذه التقانة على معادلات ماكســـويل لخلق سلســـلة من الخـــدع. فالطائرة النفاثة المقاتلة المتســـللة مرئية تماما بالعين البشـــرية، لكن خيالها على شاشة رادار العدو يكون على شـــكل حجم طائر كبير فقط. (إن تقانة التسلل هي في الحقيقة مزيج من الخـــدع. بتغيير المواد في مقاتلة نفاثة، عن طريق إنقاص محتواها من الفولاذ واســـتخدام البلاستيك والريزينات بدلا من ذلك، وتغيير الزوايا وإعادة ترتيب أنابيب العوادم... يســـتطيع المرء جعل أشعة الرادار تصطدم بالطائرة وتتشتت في الاتجاهات كلها بحيث لا ترتد إطلاقا إلى شاشـــة رادار العدو. وحتى بتقانة التسلل، لا تحجـــب المقاتلة النفاثة بالكامل؛ ولكنها تحرّف وتشـــتت تقنيا ما أمكن من أشعة الرادار).

أشباه المواد (Metamaterial) والحجب عن الرؤية

ربمـــا كان التطور الجديد الأوفر حظا بخصوص الحجب عن الرؤية هو مادة جديدة غريبة دعيت «شـــبه مـــادة» (metamaterial)، والتي يمكنها يوما أن تجعل الأجســـام غير مرئية حقا. وللمفارقة، فقد اعتقد

يوما ما أن صنع شبه المادة مستحيل لأنه يخالف قوانين البصريات. لكن الباحثين في جامعة ديوك في درهام في نورث كارولينا وفي الإمبريال كولج بلندن تحدوا في العام 2006 الحكمة التقليدية بنجاح، واستخدموا أشباه المادة لجعل جسم ما غير مرئي للأشعة الميكروية. وعلى الرغم من وجود عقبات عدة، فإنه لدينا للمرة الأولى في التاريخ طريقة لجعل المواد العادية غير مرئية (موّلت وكالة بحوث الدفاع المتقدمة التابعة للبنتاغون هذا البحث).

يقول نيثن ميرفولد الرئيس السابق للتقانة في مايكروسوفت [2] إن الإمكانية الثورية لأشباه المواد «ستغير تماما الطريقة التي نفكر فيها في البصريات وفي كل ناحية من نواحي الإلكترونيات تقريبا... ويمكن لبعض أشباه المواد هذه أن تقوم بأعمال كانت تبدو معجزة منذ عقود مضت».

ما أشباه المواد هذه؟ إنها مواد لها صفات بصرية لا توجد في الطبيعة. تصنّع أشباه المواد بدس مواد صغيرة ضمن مادة بحيث تجبر الأمواج الكهرطيسية على الانحناء بطرق غير عادية. ففي جامعة ديوك، دسّ العلماء دوائر كهربائية صغيرة جدا ضمن شرائط نحاسية مرتبة على شكل دوائر مسطحة متمركزة (تشبه إلى حد ما ملفات فرن كهربائي). وكانت النتيجة مزيجا معقدا من السيراميك والتفلون ومركبات ليفية وعناصر معدنية. تجعل هذه القطع الصغيرة المدسوسة في النحاس من الممكن حني مسار الإشعاع الميكروي ونقله بطريقة معينة. فكّر في الطريقة التي يتدفق فيها نهر حول صخرة. بما أن الماء يلتف بسرعة حول الصخرة، فإن وجود هذه الصخرة سيختفي أسفل التيار. وبالمثل يمكن لأشباه المواد أن تغير باستمرار مسار الأشعة الميكروية، وأن تحرفها بحيث تتدفق حول أسطوانة، على سبيل المثال، لتجعل كل شيء داخل الأسطوانة غير مرئي بالنسبة إلى الأشعة الميكروية. وإذا استطاعت أشباه المواد أن تقضي على الانعكاس والظلال جميعها فيمكنها أن تجعل جسما ما غير مرئي تماما بالنسبة إلى ذلك النوع من الإشعاع.

جرّب العلماء بنجاح هذا المبدأ على جهاز مصنوع من عشر حلقات من الليف الزجاجي المغطاة بعناصر نحاسية. وقد جعلت حلقة نحاسية داخل الجهاز غير مرئية تقريبا للأشعة الميكروية، مرسلة ظلا ضئيلا جدا فقط.

يدخل في صلب عمل شبه المادة قدرتها على التحكم في شيء يدعى «قرينة الانكسار». والانكسار هو حني الضوء وهو يتحرك خلال وسط شفاف. لو وضعت يدك في الماء، أو نظرت من خلال عدسات نظارتيك، فستلاحظ أن الماء أو الزجاج يشوّه مسار الضوء العادي ويحنيه.

إن سبب انحناء الضوء وهو يمر خلال الماء أو الزجاج هو أن الضوء يتباطأ عندما يدخل إلى وسط كثيف وشفاف. فسرعة الضوء في فراغ كامل تبقى ثابتة، لكن الضوء المسافر عبر الزجاج أو الماء يجب أن يمر خلال تريليونات الذرات وبالتالي فهو يتباطأ. (وتدعى نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته خلال وسط ما قرينة الانكسار لهذا الوسط. وبما أن الضوء يتباطأ خلال الزجاج، فإن قرينة انكساره هي دوما أكبر من 1). وعلى سبيل المثال، فقرينة الانكسار للفراغ هي 1 وللهواء 1.0003، وللزجاج 1.5، و2.4 للألماس. وعادة تزداد درجة انحناء الضوء وقرينة انكساره كلما زادت كثافة الوسط.

المثال المعهود على قرينة الانكسار هو ظاهرة السراب. لو نظرت أمامك مباشرة نحو الأفق وأنت تقود سيارتك في يوم حار فسيبدو لك الطريق وهو يومض موحيا بوجود بحيرة تتلألأ مياهها. وفي الصحراء يمكن للمرء أحيانا أن يرى ملامح لمدن وجبال بعيدة على الأفق. ويعود هذا إلى أن كثافة الهواء الساخن الصاعد من الرصيف أو الصحراء أقل من كثافة الهواء العادي، لهذا فإن قرينة انكساره أقل من تلك للهواء البارد المحيط، وبالتالي يمكن للضوء من مسافات بعيدة أن ينكسر من الرصيف إلى عينيك ليوهمك بأنك ترى أجساما بعيدة.

عادة تكون قرينة الانكسار ثابتة. فشعاع ضيق من الضوء ينحني عندما يدخل الزجاج ثم يستمر في خط مستقيم. ولكن افترض للحظة أن باستطاعتك التحكم في قرينة الانكسار كما تريد، بحيث تتغير باستمرار

عند كل نقطة في الزجاج. مع تحرك الضوء في هذه المادة الجديدة يمكن له أن ينحني ويتلوّى في اتجاهات جديدة، خالقا مسارا يتجول خلال تلك المادة كالثعبان.

إن استطاع المرء التحكم في قرينة انكسار شبه مادة بحيث يمر الضوء حول جسم ما، فسيصبح هذا الجسم غير مرئي. لكن لفعل ذلك يجب أن يكون لشبه المادة هذه قرينة انكسار سالبة، وهذا مستحيل كما تقول مراجع البصريات كلها. (ظهرت أشباه المادة لأول مرة في مقالة للفيزيائي الروسي فيكتور فيسيلاغو في العام 1967 الذي بيّن أن لها خصائص غريبة، كقرينة انكسار سالبة مثلا وتأثير دوبلر(Doppler Effect) (*) معكوس. إن خصائص أشباه المادة غريبة جدا ومنافية للمعهود بحيث ظن فيما مضى أن من المستحيل صنعها. ولكن صنّعت في السنوات القليلة الماضية أشباه مادة حقيقية في المختبر، مجبرة الفيزيائيين المترددين على إعادة كتابة المراجع الرئيسة في البصريات).

ويلاحق الباحثون في أشباه المواد دوما من قبل الصحافيين الذين يودون معرفة التاريخ الذي ستنزل فيه معاطف الاحتجاب عن الرؤية إلى السوق. ويكون الجواب دوما: ليس في وقت قريب.

يقول ديفيد سميث من جامعة ديوك: «يتصل المراسلون ويريدون منك أن تحدد رقما، كعدد الأشهر والسنين. إنهم يصرون ويلحون حتى تقول لهم في النهاية حسنا، ربما بعد خمس عشرة سنة. إذن لقد حصلت على الرقم الذي تريد، أليس كذلك؟ خمس عشرة سنة للحصول على معطف هاري بوتر»، وهذا هو سبب عدم إعطائه أي موعد محدد الآن[3]. ربما كان على محبي هاري بوتر وستار ترك أن ينتظروا. وبينما من الممكن الحصول على معطف إخفاء حقيقي وفق قوانين الفيزياء، كما يوافق معظم الفيزيائيين الآن، هناك عدد من العقبات الفنية الصعبة قبل أن تطور هذه التقانة لتعمل على الضوء المرئي بدلا من الإشعاع الميكروي فقط.

(*) تأثير دوبلر هو تغير ظاهري للتردد أو الطول الموجي للأمواج عندما ترصد من قبل مراقب متحرك بالنسبة إلى المصدر الموجي. ومكتشف هذه الظاهرة هو الرياضي والفيزيائي النمساوي كريستيان دوبلر (1803 - 1853) [المحررة].

بصورة عامة، يجب أن تكون الأجسام الداخلية المزروعة ضمن أشباه المواد أصغر من طول موجة الإشعاع. على سبيل المثال، يمكن أن يكون طول موجة الأشعة الميكروية 3 سم، ولذا على شبه المادة التي تحرف مسار الأشعة الميكروية أن تحوي أجساما مزروعة أصغر من 3 سم. ولجعل جسم غير مرئي للضوء الأخضر، الذي يبلغ طول موجته 500 نانومتر، يجب أن تكون شبه المادة مزروعة بأجسام بطول 50 نانومترا فقط - والنانومتر هو مقياس طول للذرات يتطلب تقانة نانوية. (1 نانومتر هو واحد على مليار من المتر في الطول). وربما كانت هذه هي المشكلة الرئيسة التي نواجهها في محاولاتنا لصنع معطف إخفاء حقيقي. على الذرات المنفردة داخل شبه المادة أن تعدّل لحني شعاع الضوء كثعبان.

أشباه مادة للضوء المرئي

السباق جار.

منذ الإعلان عن تصنيع أشباه المواد في المختبر جرى مزيد من النشاط في هذا المجال، مع رؤى جديدة واختراقات مذهلة تحدث كل شهور عدة.

الهدف واضح: استخدام التقانة النانوية لصنع أشباه مواد يمكن أن تحني الضوء المرئي، وليس الأشعة الميكروية فقط. اقترحت عدة طرق واعدة.

كان أحد الاقتراحات استخدام تقانة جاهزة، أي استعارة تقانات معروفة من صناعة أنصاف النواقل لصنع أشباه المواد. هناك تقانة تدعى بالـ «الطباعة الضوئية» (photolithography) تقع في صميم تصغير الحاسوب وبالتالي فهي التي تدفع ثورة الحاسوب. تمكّن هذه التقانة المهندسين من وضع مئات الملايين من الترانزستورات الصغيرة في شريحة سيليكونية واحدة ليست أكبر من إبهام اليد.

يعود سبب تضاعف قوة الحاسوب كل ثمانية عشر شهرا (والذي يدعى قانون مور) إلى أن العلماء يستخدمون الإشعاع فوق البنفسجي لـ «نقش» دارات أصغر فأصغر على شريحة سيليكونية. وتشبه هذه التقانة استخدام الطباعة بالستنسل (stencile) لصنع تيشيرتات ملونة. (يبدأ مهندسو الحاسوب

بشــريحة نحيفة، ثم يضعون فوقها طبقات نحيفــة جدا من مواد مختلفة. ثم يوضع قناع بلاستيكي فوق الشريحة يعمل كقالب لنموذج يحتوي على المخطط المعقد للأســلاك والترانزستورات وعناصر الحاسـوب التي هي أساس بنية الدارة. تغمر الشــريحة بالإشعاع فوق البنفسجي بطول موجة قصيرة، ويطبع الإشعاع النموذج على الشريحة الحساسة للضوء. وبمعالجة الشريحة بغازات وأحماض خاصة، تنقش الدارة المعقدة على الشــريحة التي تعرضت للأشــعة فوق البنفســجية. تخلق هذه العملية شريحة تحوي مئات الملايين من الأخاديد الضئيلة التي تشكل مخطط الترانزستور). ويمكن حاليا بواسطة هذه الطريقة صنع عناصر ببعد 30 نانومترا (أو ما يعادل نحو 150 ذرة).

جرى تحول مهم في مســيرة البحث عن الإخفاء عند اســتخدام تقانة نقش شــرائح الســيليكون هذه من قبل مجموعة من العلماء لصنع أشباه المادة الأولى التي تعمل في مجال الضوء المرئي. وقد أعلن علماء في ألمانيا وفي وزارة الطاقة في أمريكا أوائل العام 2007 أنهم ولأول مرة في التاريخ صنعوا شــبه مادة تعمل في مجال الضوء الأحمر. لقد تحقق «المســتحيل» في وقت قصير للغاية.

اســتطاع الفيزيائي كوستاس سوكوليس من مختبر إيمس في أيوا، مع ستيفان لندن ومارتين ويغنير وغونر دولينغ من جامعة كارلسروه في ألمانيا، أن يصنّعوا شــبه مادة لها قرينة انكسار تعادل ‎-0.6‎ للضوء الأحمر، عند طول موجة 780 نانومترا (كان الرقم العالمي للإشــعاع الذي يحنى بشــبه مادة سابقا هو 1400 نانومتر، مما يضعه خارج نطاق الضوء المرئي، وفي مجال تحت الأحمر).

بدأ العلماء أولا بلوح زجاجي، ثم رسّــبوا فوقه طبقة رقيقة من الفضة وفلوريد المغنيزيوم، ثم طبقة أخرى من الفضة، مشــكلين «سندويشــة» من الفلورايد بثخن 100 نانومتر. ثم باستخدام تقانات النقش العادية، صنّعوا مصفوفة واســعة من الثقــوب الميكروية المربعة في السندويشــة، خالقين مخططا شــبكيا يشبه شــبكة الصيد. (الثقوب بعرض 100 نانومتر وهي أصغر بكثير من طول موجة الضوء الأحمر). ثم مرروا شــعاعا من الضوء الأحمر خلال المادة وقاسوا قرينة انكسار المادة التي كانت ‎-0.6‎.

يتنبأ هؤلاء الفيزيائيون بتطبيقات عديدة لهذه التقانة «قد تقود إلى تطوير نوع من العدسة المسطحة الفائقة التي تعمل في مجال الطيف المرئي»، كما يقول الدكتور سوكوليس. «ستقدم مثل هذه العدسة دقة متفوقة على التقانة التقليدية ملتقطة تفاصيل أصغر بكثير من طول موجة الضوء». وسيكون التطبيق الفوري لهذه «العدسة الفائقة» [4] هو تصوير أجسام ميكروية بوضوح لا يقارن، كما في داخل خلية بشرية حية أو لتشخيص أمراض في طفل داخل رحم أمه. ويمكن للمرء بواسطة هذه العدسة أن يحصل على صور لعناصر جزيء الدنا من دون الحاجة إلى استخدام التصوير المزعج بأشعة إكس.

وحتى الآن برهن هؤلاء العلماء على قرينة انكسار سالبة للضوء الأحمر فقط. وستكون خطوتهم التالية استعمال هذه التقانة لصنع شبه مادة تحني الضوء الأحمر حول جسم تماما مما يجعله غير مرئي بالنسبة إلى ذلك الضوء.

قد تحدث تطورات من هذا القبيل في المستقبل في مجال «البلورات الفوتونية» (photonic). تهدف تقانة البلورة الفوتونية إلى صنع شريحة تستخدم الضوء، بدلا من الكهرباء، لمعالجة المعلومات. ويتطلب هذا استخدام التقانة النانوية لنقش عناصر ضئيلة على شريحة، بحيث تتغير قرينة الانكسار مع كل عنصر. وللترانزستورات التي تستخدم الضوء مزايا عدة على تلك التي تستخدم الكهرباء. على سبيل المثال، فإن الحرارة الضائعة أقل للبلورات الفوتونية. (في الشرائح السيليكونية المتطورة فإن الحرارة المتولدة كافية لقلي بيضة. وبالتالي يجب تبريدها دوما وإلا فشلت، بيد أن المحافظة عليها باردة مكلف جدا). ليس من الغريب أن علم البلورات الفوتونية ملائم مثاليا لأشباه المواد، لأن التقانتين كلتيهما تتضمنان التحكم في قرينة انكسار الضوء على المستوى النانوي.

الاحتجاب عن الرؤية عبر شبه مادة البلاسمونيكس (Plasmonics)

وحتى لا تسبق في هذا المجال، أعلنت مجموعة أخرى في منتصف العام 2007 أنها صنّعت شبه مادة تحني الضوء باستخدام تقانة مختلفة تماما دعيت «بلاسمونيكس». أعلن الفيزيائيون هنري ليزيك وجينيفر

ديون وهاري أتواتر من معهد كاليفورنيا التكنولوجي أنهم صنّعوا شبه مادة لها قرينة انكسار سالبة للمنطقة الأصعب (الأخضر - الأزرق) من المجال المرئي للضوء.

يهدف البلاسمونيكس إلى «ضغط» الضوء بحيث يستطيع المرء التحكم في الأجسام على المستوى النانوي، وخصوصا على سطح المعادن. تعود ناقلية المعادن للكهرباء إلى أن الإلكترونات ترتبط بشكل رخو مع ذرات المعادن، بحيث تستطيع التحرك بحرية على طول سطح الشبكة المعدنية. تمثّل الكهرباء التي تسري في أسلاك منزلك التدفق الناعم لهذه الإلكترونات المرتبطة بشكل رخو على سطح المعدن. ولكن تحت ظروف معينة عندما يصدم شعاع من الضوء سطح معدن، يمكن للإلكترونات أن تهتز بتناسق مع شعاع الضوء الأصلي خالقة حركات تموجية للإلكترونات على سطح المعدن (تدعى بلاسمونز plasmons)، وتهتز هذه الحركات التموجية بتناسق مع شعاع الضوء الأصلي. والأكثر أهمية أن من الممكن «ضغط» هذه البلاسمونات بحيث يكون لها تردد الشعاع الأصلي نفسه (وبالتالي تحمل المعلومات نفسها) ولكن بطول موجة أقصر بكثير. ومن حيث المبدأ، يمكن للمرء بعد ذلك أن يحشر هذه الموجات المضغوطة بعضها مع بعض في أسلاك نانوية. وكما في البلورات الفوتونية، فإن الهدف النهائي من البلاسمونيكس هو خلق شرائح حاسوبية باستخدام الضوء بدلا من الكهرباء.

صنّعت مجموعة كالتك (*) شبه مادة مؤلفة من طبقتين من الفضة يفصلهما عازل سيليكون - نتروجين (بثخن 50 نانومترا فقط)، يعمل كـ «موجه موجي» يمكنه توجيه مسار الأمواج البلاسمونية. يدخل ضوء الليزر الجهاز ويخرج منه عبر شقين محفورين في شبه المادة. وبتحليل الزوايا التي يحنى عندها الضوء وهو يمر خلال شبه المادة يمكن للمرء أن يتحقق من أن الضوء يحنى عبر قرينة انكسار سالبة.

(*) معهد كاليفورنيا للتقنية California Institute of Technology.

مستقبل أشباه المواد

سيتسارع التقدم في حقل أشباه المواد في المستقبل لسبب بسيط هو وجود اهتمام شديد مسبق بتصنيع ترانزستورات تستخدم الأشعة الضوئية بدلا من الكهرباء. ولذا يمكن للبحث في الحجب عن الرؤية أن يستفيد من البحث الجاري على البلورات الفوتونية والبلاسمونيكس لخلق بدائل من الشريحة السيليكونية. وقد صرفت مسبقا مئات الملايين من الدولارات في صنع مواد بديلة لتقانة السيليكون وسيستفيد البحث عن أشباه المواد من جهود البحث هذه.

ومع الاختراقات التي تحدث في هذا المجال كل عدة شهور، ليس من المستغرب أن يرى بعض الفيزيائيين نوعا من درع عملية لحجب الرؤية تخرج من المختبر ربما خلال العقود القليلة القادمة. ففي السنوات القليلة المقبلة، على سبيل المثال، يثق العلماء بأنهم سيستطيعون تصنيع أشباه مواد يمكنها أن تجعل جسما ما غير مرئي تماما بالنسبة إلى تردد معين من الضوء المرئي في بعدين على الأقل. ولفعل ذلك يتطلب الأمر زرع أجسام نانوية صغيرة ليس في صفوف منتظمة، ولكن على شكل نماذج معقدة، بحيث ينحني الضوء بنعومة حول الجسم.

وعلى العلماء بعد ذلك أن يصنعوا شبه مادة تستطيع حني الضوء في الأبعاد الثلاثة، وليس لسطوح مسطحة ببعدين فقط. لقد أتقنت تقانة النقش الضوئي لصنع شرائح سيليكونية منبسطة، لكن صنع أشباه مواد ثلاثية الأبعاد يتطلب ترتيب الشرائح بطرق معقدة.

وعلى العلماء بعد ذلك أن يحلّوا مشكلة صنع أشباه مواد تستطيع حني ليس ترددا واحدا، ولكن العديد من الترددات. وربما سيكون هذا أصعب مهمة، لأن الأجسام الصغيرة المزروعة التي صممت حتى الآن تحني الضوء ضمن تردد واحد فقط. وربما على العلماء أن يصنّعوا أشباه مواد مبنية على طبقات، بحيث تحني كل طبقة موجة محددة. إن الحل لهذه المشكلة غير واضح.

وعلى الرغم من كل ذلك، ما إن تصنع أخيرا درع لحجب الرؤية فقد تكون أداة سمجة. لقد صنع معطف هاري بوتر من قماش نحيف ومرن يجعل أي شخص داخله غير مرئي. ولكن لجعل هذا الأمر ممكنا يجب

أن تتغير قرينة الانكسار داخل القماش باستمرار بطرق معقدة مع حركته، وهــذا غير عملي. الأكثر احتمالا هو صنــع «معطف» حجب رؤية حقيقي مؤلف من أســطوانة صلبة من شــبه مادة في البداية علــى الأقل. وبهذه الطريقة يمكن تثبيت قرينة الانكسار داخل الأسطوانة. (يمكن أن تتضمن النســخ الأكثر تطورا في نهاية الأمر أشــباه مواد مرنــة يمكنها أن تلتوي وتحافظ على تدفق الضوء ضمن شــبه المادة في المســار الصحيح. وبهذه الطريقــة يمكن لأي كان ضمن المعطــف أن يحافظ على بعض المرونة في أثناء الحركة).

أشار البعض إلى عيب في درع حجب الرؤية: لا يستطيع أي كان داخلها أن يرى ما في الخارج من دون أن يصبح مرئيا. تصور كون هاري بوتر غير مرئي تماما عدا عينيه اللتين تبدوان وكأنهما تعومان في الهواء. وســتكون أي ثقــوب للعين في معطف عدم الرؤية مرئية بوضوح من الخارج. لو كان هاري بوتر غير مرئي تماما فإنه سيجلس كالأعمى تحت معطفه الحاجب للرؤيــة. (أحد الحلول الممكنة لهذه المشــكلة قد يكــون إدخال صفيحتين صغيرتــين زجاجيتين قرب موضع ثقبي العينين. وســتعمل هذه الصفائح الزجاجية كـ «مقسّــم للشعاع» يقسم جزءا ضئيلا من الضوء الساقط على الصفائح، ثم يرســل الضوء إلى العينين. ولذا فإن معظم الضوء الســاقط على المعطف سيتدفق حوله جاعلا الشخص غير مرئي، لكن جزءا ضئيلا من الضوء سيتحول إلى العينين).

وعلى الرغم من صعوبة هذه المشكلات فإن العلماء والمهندسين متفائلون بإمكانية صنع نوع من دروع عدم الرؤية في العقود المقبلة.

الاختفاء والتقانة النانونية

كما ذكرت ســابقا، قد تكون التقانة النانوية هــي المفتاح للإخفاء، أي القدرة على التحكم في مقياس الذرات ببعد واحد على مليار من المتر.

يعــود مولد التقانــة النانوية إلى محاضرة شــهيرة لحامل جائزة نوبل ريتشــارد فينمان بالجمعية الفيزيائية الأمريكية فــي العام 1959 بعنوان فيه تحدٍ «هناك مجال كبير في الأسفل». في تلك المحاضرة خمن فينمان

حول شكل أصغر الآلات بحيث تتلاءم مع قوانين الفيزياء المعروفة. لقد أدرك أنه من الممكن صنع آلات أصغر فأصغر حتى تصل إلى أبعاد ذرية، ويمكنك بعد ذلك استخدام الذرات لصنع آلات أخرى. واستنتج أن الآلات الذرية، مثل البكرات والعتلات والروافع والعجلات، تعمل كلها ضمن قوانين الفيزياء، على الرغم من الصعوبة الشديدة في تصنيعها.

خفتت التقانة النانوية لسنوات لأن التحكم في الذرات المنفردة كان مبكرا بالنسبة إلى تقانة تلك الأيام. لكن الفيزيائيين حققوا اختراقا في العام 1981 باختراع مجهر المسح النفقي الذي منح جائزة نوبل في الفيزياء للعالمين جيرد بينيغ وهاينرش رورير، اللذين كانا يعملان في مختبر آي بي إم (IBM) في زيورخ.

فجأة استطاع الفيزيائيون الحصول على «صور» مذهلة للذرات المنفردة المصفوفة كما في كتب الكيمياء، وهو ما اعتبره منتقدو النظرية الذرية يوما ما مستحيلا. أصبحت صور الذرات المصفوفة في بلورة أو معدن الآن ممكنة. وأصبح من الممكن رؤية الصيغة الكيميائية المستخدمة من العلماء لمجموعة معقدة من الذرات المرتبطة في جزيء ما بالعين المجردة. وأكثر من ذلك، جعل المسح بالمجهر النفقي من الممكن التحكم في الذرات المنفردة. وفي الحقيقة هجئت أحرف «IBM» عبر ذرات منفردة محدثة ضجة كبيرة في المجتمع العلمي. ولم يعد العلماء عميانا عند تحكمهم في الذرات المنفردة، ولكنهم يستطيعون حقا رؤيتها واللعب بها.

إن مجهر المسح النفقي بسيط بشكل مخادع. وكما تمسح إبرة الفونوغراف الأسطوانة، يمرر فاحص حاد ببطء فوق المادة التي يراد تحليلها. (رأسه حاد جدا بحيث إنه يتألف من ذرة واحدة). ثم توضع شحنة كهربائية صغيرة على الفاحص فيتدفق تيار من الفاحص عبر المادة إلى السطح في الأسفل. ومع مرور الفاحص فوق الذرة المنفردة تختلف شدة التيار التي تمر عبره وتسجل هذه الاختلافات. يرتفع التيار وينخفض مع مرور الإبرة فوق ذرة، وبالتالي تتقفى هذه الإبرة مخططها بتفصيل رائع. وبعد مسوحات عدة، يمكن للمرء برسم التغيرات في شدة التيار أن يحصل على صور جميلة للذرات المنفردة التي تؤلف الشبكة.

(أصبح مجهر المســح النفقي ممكنا بقانون غريب من فيزياء الكوانتم. عــادة لا تمتلك الإلكترونات طاقة كافية للمــرور من الفاحص وعبر المادة إلى الســطح في الأســفل. ولكن بســبب مبدأ عدم التأكد، هناك إمكانية بســيطة بأن تخترق الإلكترونات في التيار الكهربائي الحاجز على الرغم من أن هذا ممنوع في النظرية النيوتونية. وبالتالي فإن التيار الذي يجري خلال الفاحص حســاس للتأثيرات الكوانتمية الضئيلة الموجودة في المادة. وسأناقش تأثيرات نظرية الكوانتم لاحقا بتفاصيل أكبر).

هذا الفاحص حســاس أيضــا بما يكفــي ليحرك الــذرات المنفردة، ليخلق «آلات» بســيطة من الذرات المنفردة. أصبحت هذه التقانة متقدمة الآن بحيــث يمكن عرض مجموعة من الذرات على شاشــة حاســوب، ثم بمجرد تحريك مشــيرة الحاســوب يمكن تحريك الــذرات بالطريقة التي تريــد. ويمكنك التحكم في مجموعات من الــذرات كما تريد، كما لو كنت تلعــب بمكعبات لعبة الليغو Lego. وإضافــة إلى تهجئة الأحرف الهجائية باســتخدام الذرات المنفــردة، يمكن للمرء أيضا أن يصنــع لعبا ذرية مثل العــداد المصنوع من ذرات منفــردة. تصف الذرات على ســطح له ثقوب شــاقولية، ويمكن للمرء داخل هذه الشــقوق الشــاقولية أن يحشر كرات الكربون (Buckyballs) التي تشــبه في شــكلها كرة القدم لكنها مصنوعة مــن ذرات كربون منفردة. (يمكن بعد ذلك تحريك كرات الكربون هذه نحو الأعلى والأسفل في كل شق صانعا بذلك عدادا ذريا).

من الممكن أيضا صنع آلات ذرية باســتخدام الأشعة الإلكترونية. على ســبيل المثال، صنع علماء من جامعة كورنيل أصغر غيتار في العالم. وهو أصغر بـ 20 مرة من شــعرة إنســان، مصنوع من بلورة ســيليكونية. ولهذا الغيتار ستة أوتار كل منها بثخن 100 ذرة، ويمكن تحريك الأوتار باستخدام مجهــر قوة ذرية. (يعزف هذا الغيتار الموســيقى حقا، لكن الترددات التي يحدثها هــي فوق مستوى الأذن البشرية بكثير).

حاليا، فإن معظم هــذه «الآلات» النانوية هــي مجرد ألعاب، ولم تصنع حتــى الآن آلات أعقــد بعلب ســرعة وحوامــل كروية. لكــن العديد من المهندســين يتفاءلون بأن الوقت ســيأتي عندما نتمكن من إنتاج آلات ذرية

حقة. (توجد آلات ذرية في الطبيعة. فالخلايا يمكنها أن تسبح بحرية في الماء لأنها تستطيع تحريك شعرات ضئيلة جدا. لكن عندما يحلل المرء الوصلة بين الشعرة والخلية يرى أنها حقا آلة ذرية تسمح للشعرة بالحركة في الاتجاهات كلها. لذا فإن أحد المفاتيح لتطوير التقانة النانوية هو تقليد الطبيعة التي أتقنت فن الآلات الذرية منذ مليارات السنين).

الهولوغرام (Holograms) والاختفاء

الطريقة الأخرى لجعل الشخص غير مرئي جزئيا هي تصوير المشهد وراء شخص ما ثم عرض هذه الصورة الخلفية مباشرة على ثياب الشخص أو على شاشة أمامه. من الأمام يبدو كما لو أن الشخص أصبح شفافا وأن الضوء قد مر بطريقة ما خلال جسمه.

يقول ناوكي كاواكامي من مختبر تاشي في جامعة طوكيو، والذي عمل بجد على عملية «التعمية البصرية» هذه: «ستستخدم هذه التقانة لمساعدة الطيارين على أن يروا المدرج أسفلهم خلال أرض قمرة القيادة، أو لمساعدة السائقين على الرؤية خلال الرفرف وهم يركنون سياراتهم». إن معطف كواكامي مغطى بكريات صغيرة عاكسة للضوء تعمل كشاشة السينما. تصور كاميرا فيديو ما هو موجود خلف المعطف. ثم تغذى هذه الصورة إلى جهاز إسقاط فيديوي ينير مقدمة المعطف، ليبدو كما لو أن الضوء مر خلال الشخص. توجد نماذج من معطف التعمية البصرية بالفعل في المختبر. ولو نظرت مباشرة إلى شخص يلبس هذا المعطف الذي يشبه الشاشة، يبدو كما لو أن الشخص قد اختفى، لأن كل ما تراه هو الصورة وراء الشخص. لكنك لو حركت عينيك قليلا فلن تتغير الصورة على المعطف، مما يخبرك بأنها زائفة. وستحتاج إلى تعمية بصرية أكثر واقعية إلى خلق الوهم بصورة ثلاثية الأبعاد. ومن أجل هذا يحتاج المرء إلى هولوغرام.

الهولوغرام هو صورة ثلاثية الأبعاد تخلق بالليزر (مثل الصورة ثلاثية الأبعاد للأميرة ليا في حرب النجوم). يمكن جعل الشخص غير مرئي لو صور المشهد الخلفي بكاميرا هولوغرافية خاصة، ثم يسقط الخيال

الهولوغرافي على شاشة هولوغرافية خاصة أمام الشخص. وسيرى الناظر الواقف أمام ذلك الشخص الشاشة الهولوغرافية التي تحتوي على الصورة ثلاثية الأبعاد للمشهد الخلفي من دون الشخص. وسيبدو المشهد كما لو أن الشخص قد اختفى. وفي مكان ذلك الشخص ستكون هناك صورة دقيقة ثلاثية الأبعاد للمشهد الخلفي. وحتى لو حركت عينيك فلن تستطيع أن تعلم أن ما تراه زائف.

من الممكن صنع الصور ثلاثية الأبعاد الهولوغرامية بشعاع الليزر لأنه «متناسق»، أي أن الموجات كلها تهتز بتناسق تام. وتنتج الهولوغرامات بجعل شعاع ليزري متناسق ينقسم إلى قسمين. تسطع نصف الحزمة الليزرية على فيلم فوتوغرافي. ويثير القسم الثاني جسما ثم يرتد عنه ثم يسطع على الفيلم الفوتوغرافي نفسه. وبتداخل هذين الشعاعين على الفيلم ينتج نموذج تداخل يتضمن المعلومات كلها للموجة الأصلية ثلاثية الأبعاد. ولا يبدو الفيلم عندما يظهر شيئا مميزا، بل مجرد نموذج عنكبوتي معقد من الخطوط والدوائر. لكن عندما يسمح لشعاع ليزري بأن يسطع على هذا الفيلم، تتضح فجأة نسخة ثلاثية الأبعاد للجسم الأصلي كما لو كان الأمر سحرا.

لكن المشاكل التقنية للإخفاء الهولوغرافي كبيرة جدا. يتمثل أحد التحديات في صنع كاميرا هولوغرافية تستطيع أخذ ثلاثين لقطة في الثانية على الأقل. والمشكلة الثانية هي تخزين المعلومات جميعها ومعالجتها. وأخيرا يحتاج المرء إلى عرض هذه الصورة على شاشة بحيث تبدو واقعية.

الإخفاء بواسطة البعد الرابع

علينا أن نذكر أيضا طريقة أكثر تطورا للإخفاء ذكرت من قبل إتش. جي. ويلز في روايته «الرجل الخفي» وتشمل استخدام قوة البعد الرابع. (سأناقش لاحقا في هذا الكتاب بتفصيل أكبر احتمال وجود أبعاد أعلى) هل من الممكن أن نغادر كوننا ذا الأبعاد الثلاثية وأن نحلّق فوقه من موقع أفضل ببعد رابع؟ مثل فراشة ثلاثية الأبعاد تحوم فوق ورقة ثنائية الأبعاد،

فلن نكون مرئيين لأي شـــخص يعيش في الكون الموجود أسفلنا. إن إحدى المشاكل بالنسبة إلى هذه الفكرة هي أنه لم يبرهن إلى الآن على وجود هذه الأبعـــاد. والأكثر من ذلك، تتطلب رحلة افتراضيـــة إلى بعد أعلى طاقات أكبر من أي شيء يمكن الحصول عليه بالتقانات الحالية. وكطريقة ممكنة لتحقيـــق الإخفـــاء، فإن هذه الطريقـــة هي بوضوح خارج نطـــاق معرفتنا وإمكاناتنا الحالية.

وبالنظـــر إلى الخطـــوات الكبيرة التـــي حققت حتـــى الآن لتحقيق الإخفـــاء، فإنها تصنف على أنها مســـتحيلات مـــن الصنف الأول. وقد يصبـــح نوع من الإخفاء، خلال العقود القليلة المقبلة أو على الأقل خلال هذا القرن، أمرا شائعا.



3

المدافع الشعاعية و«نجوم الموت»

«لا مستقبل للراديو. الآلات الطائرة الأثقل من الهواء مستحيلة. وسيبرهن على أن أشعة إكس خدعة».

الفيزيائي اللورد كلفن، 1899

«القنبلة الذرية لن تنجح. أتكلم كخبير في المتفجرات».

الأدميرال وليام ليهي

«لا توجد حدود فيزيائية لكلمة الطاقة الخام التي يمكن حشدها في شعاع ضوئي»

المؤلف

4-3-2-1 أطلق النار

«نجم الموت» سلاح رهيب، فهو بحجم قمر بأكمله. وبإطلاقه على الكوكب المسكين آلديران، موطن الأميرة ليا، يشعله ويفتته في انفجار رهيب، مرسلا شظايا كوكبية تندفع في أرجاء النظام الشمسي بأكمله، وتصرخ مليار روح بألم، خالقة اضطرابا في القوة يشعر بها خلال المجرة كلها.

لكن هل سلاح نجم الموت المذكور في رواية «حرب النجوم» ممكن حقا؟ هل يمكن لمثل هذا السلاح نقل بطارية من المدافع الليزرية لتبخير كوكب بأكمله؟ ماذا عن السيف الضوئي الشهير المستخدم من قبل لوك سكايووكر ودارث فيدر، والذي يمكنه أن يخترق الفولاذ المدعم على الرغم من أنه مصنوع من أشعة ضوئية؟ هل المدافع الشعاعية (Phasers)، مثل الفيزر في مسلسل «ستار ترك»، متاحة للأجيال المقبلة من ضباط حفظ القانون ومن الجنود؟

في «حرب النجوم»، دهش الملايين من محبي السينما بهذه التأثيرات الخاصة المذهلة والأصيلة، لكنها لم تكن كذلك بالنسبة إلى بعض النقاد الذين انتقدوها بشدة قائلين إنها ممتعة لكنها بكل وضوح مستحيلة. وكما قالوا، فإن المدافع الشعاعية التي هي بحجم القمر، والتي تفجر الكواكب، غريبة عن الأرض، وكذلك السيوف المصنوعة من أشعة ضوئية جامدة، حتى بالنسبة إلى مجرة بعيدة جدا، لا بد أن جورج لوكاس (*) سيد التأثيرات الخاصة قد بالغ كثيرا هذه المرة.

وعلى الرغم من صعوبة تصديق هذا، فالحقيقة أنه لا توجد حدود فيزيائية لكمية الطاقة الخام التي يمكن حشدها في شعاع ضوئي. وليس هناك قانون فيزيائي يمنع صنع نجم موت أو سيوف ضوئية. وفي الحقيقة فإن حزما ضوئية من أشعة غاما، والتي تفجر الكواكب، موجودة في الطبيعة. يخلق هذا التفجير الهائل من مطلق أشعة غاما بعيد في الفضاء العميق انفجارا لا يماثله إلا الانفجار الكبير (**) نفسه. وسيحترق أي كوكب يقع ضمن مجال مطلق أشعة غاما حتما، أو سينفجر أشلاء.

الأسلحة الشعاعية خلال التاريخ

لا يعد الحلم بتسخير الأشعة الطاقية جديدا، بل إنه متجذر في الأساطير والملاحم القديمة. اشتهر الإله اليوناني زيوس بإطلاقه سهامه الصاعقة على الأحياء. ولدى إله الشماليين ثور مطرقة سحرية

(*) جورج لوكاس صانع أفلام «حرب النجوم»، وهو منتج ومؤلف ومخرج أمريكي من مواليد العام 1944 [المحررة].

(**) The big bang.

تدعى مجولنير يمكنها إطلاق سـهام صاعقة، بينما عرف إله الهندوس أندرا بإطلاق أشعة طاقية من رمح سحري.

ربما بدأت فكرة اسـتخدام الأشـعة كسـلاح عملي مع عمـل الرياضي اليونانـي العظيم أرخميدس، الذي ربما كان أعظم عالم في العصور القديمة كلها، والذي اكتشف نسخة بدائية من التكامل منذ حوالي 2000 عام مضت، قبـل نيوتن وليبنـز. وفي معركة أسـطورية ضد جيوش الجنـرال الروماني مارسـيلاس خلال الحرب البونية الثانية العام 214 ق. م، ساعد أرخميدس في الدفاع عن مملكة سـيراكوز، ومن المعتقـد أنه صنع بطاريات ضخمة من المرايا الشمسية التي ركزت أشعة الشمس على أشرعة أسطول العدو وأشعلت فيها النار، (لايزال الجـدل محتدما حتى اليوم بين العلماء فيما إذا كان ذلك سلاحا شـعاعيا فعالا وعمليا، وحاولت مجموعات مختلفة من العلماء تقليد هذا الإنجاز بنتائج متفاوتة).

انفجرت المدافع الشعاعية على مشهد الخيال العلمي في العام 1889، مع رواية أتش. جي ويلز الكلاسيكية «حرب العوالم»، حيث دمر غرباء من المريخ مدنا بكاملها بإطلاق أشـعة من الطاقة الحرارية من أسلحة مركبة علـى قوائم ثلاثية. وخلال الحرب العالمية الثانية، جرب النازيون [1] الذين كانوا دوما متشـوقين لاستغلال التطورات الحديثة في التقانة لقهر العالم أشكالا مختلفة من المدافع الشعاعية، بما في ذلك جهاز صوتي مبني على مرايا إهليلجية تركز حزما قوية من الصوت.

لامسـت الأسلحة المصنعة من الحزم الضوئية المركزة [2] خيال الجمهور مـع فيلم جيمس بونـد «غولدفينغر»، وهو أول فيلـم لهوليوود يظهر الليزر (ربط الجاسوس الأسطوري البريطاني على طاولة معدنية بينما تقدم شعاع ليزري ببطء مذيبا بالتدريج الطاولة بين قدميه ومهددا بشطره إلى نصفين).

سخر العلماء في البداية من فكرة المدافع الشعاعية التي ذكرت في رواية أتش. جي ويلز، لأنها تناقض قوانين البصريات. فبحسب قوانين ماكسويل، ينتشـر الضوء الذي نراه حولنا بسـرعة، وبالتالي فهو غير منسجم (أي أنه مجموعـة من الموجـات بترددات وأطوار مختلفة). لقـد اعتقد ذات يوم أن حزما متجانسـة ومركزة ومتسـقة من الضوء كما نجدها في أشـعة الليزر يستحيل صنعها.

ثورة الكوانتم (الكمومية)

تغير هـــذا كله مع قدوم نظرية الكوانتـــم (النظرية الكمومية). فمع بدايـــة القرن العشـــرين، أصبح واضحا أنه على الرغـــم من أن قوانين نيوتـــن وعلاقات ماكســـويل ناجحة جدا في تفســـير حركـــة الكواكب وتصرف الضوء، فإنها لم تستطع أن تفسر مجموعة كاملة من الظواهر. فقد فشـــلت جدا في تفسير ناقلية المواد للكهرباء وانصهار المعادن عند درجـــات حرارة معينـــة وإصدار الغازات للضوء عند تســـخينها وتحول بعض المواد إلى نواقل فائقة عند درجات حرارة منخفضة، حيث تحتاج كلهـــا إلى فهم للديناميكية الداخلية للذرات. كان الوقت مناســـبا لثورة، وكانت مائتان وخمسون عاما من الفيزياء النيوتونية على وشك السقوط معلنة طلقات الولادة لفيزياء جديدة.

فـــي العام 1900، اقترح ماكس بلانك في ألمانيا أن الطاقة ليســـت مســـتمرة كما اعتقد نيوتن، لكنها تأتي في حزم صغيرة متقطعة دعيت «الكـــم» أو quanta. ثم في العام 1905 افترض آينشـــتاين أن الضوء يتألف من حزم صغيرة متقطعة أو «كوانتا» دعيت فيما بعد «فوتونات»، وبهذه الطريقة القوية لكن البسيطة، استطاع آينشتاين أن يفسر التأثير الكهروضوئـــي، أو لماذا تصـــدر الإلكترونات من المعادن عندما يســـلط الضوء عليها. واليوم يشـــكل التأثير الكهروضوئي والفوتونات أســـاس عمل التلفاز والليزرات والخلايا الشمسية ومعظم الإلكترونيات الحديثة (كانت نظرية آينشـــتاين حول الفوتون ثورية، بحيث لم يســـتطع ماكس بلانك الذي كان عادة يؤيد آينشـــتاين بقوة تصديقها في البداية. وكتب بلانك عن آينشـــتاين: «إنه قد يخطئ الهدف فـــي بعض الأحيان [3]... كما في فرضيته حول الكوانتم الضوئية على سبيل المثال ولكن لا يمكن اعتبار هذا ضده»).

ثـــم في العام 1913 أعطانـــا الفيزيائي الدنماركـــي نيلز بوهر صورة جديـــدة تماما عن الذرة، تمثل صورة مصغرة عن النظام الشمســـي. لكن على النقيض من نظام شمســـي في الفضاء الخارجي، يمكن للإلكترونات أن تتحرك فقط في مدارات أو أغلفة متقطعة حول النواة. وعندما «تقفز»

الإلكترونـــات من غلاف لآخر أصغر منـــه وبطاقة أقل فإنها تصدر فوتونا من الطاقة. وعندما يمتص الإلكترون فوتونا بطاقة متقطعة فإنه يقفز إلى غلاف أكبر بطاقة أعلى.

ظهـــرت نظرية كاملة تقريبا للذرة في العـــام 1925، مع مجيء نظرية الكوانتم والعمل الثوري لإروين شرودينغر وورنر هايزنبرغ وآخرين. وبحسب نظريـــة الكوانتم، فالإلكترون عبارة عن جســـيم لكنه يمتلك موجة مرتبطة معه، مما يعطيه خصائص الجسيم والموجة معا. تتبع الموجة علاقة تدعى بعلاقة شرودينغر، والتي تمكن المرء من حساب خصائص الذرات، بما في ذلك «القفزات» التي افترضها بور جميعها.

قبـــل العام 1925، اعتبرت الذرات أجســـاما غريبة واعتقد كثيرون، مثل الفيلســـوف أرنســـت ماخ، أنها قد لا تكون موجودة على الإطلاق. وبعد العام 1925 يمكـــن للمرء في الحقيقة أن يحدق بعمق في ديناميكية الذرات ويتنبأ بخصائصهـــا. ومـــن المدهش أن هذا يعنـــي أنه لو كان لديك حاســـوب قوي بما يكفي لأمكنك اشـــتقاق خصائص العناصـــر الكيميائية من قوانين نظرية الكوانتم. وبالطريقة نفســـها التي يمكن للفيزيائيين النيوتونيين أن يحســـبوا بواســـطتها حركات الأجسام الكونية في الكون كلها لو كانت لديهم آلة حساب قوية بما يكفي، فقـــد ادعى فيزيائيو الكوانتم أن بإمكانهم من حيث المبدأ أن يحســـبوا خصائص العناصـــر الكيميائية في الكون كلها. ولـــو كان لدى المرء حاسوب قوي بما يكفي لأمكنه أيضا كتابة التابع الموجي لإنسان بكامله.

الميزرات والليزرات

في العام 1953 أنتج البروفيســـور تشارلز تاونز من جامعة كاليفورنيا في بيركلي وزملاؤه الإشـــعاع المتجانس الأول على شـــكل أشعة ميكروية. أطلق عليها لقب «ميزر» (maser) (لتضخيم الأشـــعة الميكروية من خلال الإصـــدار المحرض للأشـــعة). وفي النهاية فاز مع الفيزيائيين الروســـيين نيكولاي باسوف وألكساندر بروخروف بجائزة نوبل للعام 1964. وبسرعة مـــدت نتائجهـــم إلى الضوء المرئـــي معطية الليزر (أما الفيـــزر فهو جهاز خرافي أشيع في مسلسل «ستار ترك»).

في الليزر تبدأ أولا بوســـط خاص يمر شـــعاع الليـــزر خلاله مثل غاز خـــاص أو بلورة أو ديود، ثم تضخ طاقة إلى هذا الوســـط من الخارج على شكل كهرباء أو راديو أو ضوء أو تفاعل كيميائي. يهيج هذا الدفق المفاجئ للطاقة ذرات الوســـط، بحيث تمتص الإلكترونات الطاقة لتقفز إلى أغلفة الإلكترونات الخارجية.

وفي هذه الحالة المثارة ذات الطاقة العالية يكون الوســـط غير مستقر. إذا أرسل المرء بعد ذلك شعاعا من الضوء خلال هذا الوسط، فستضرب الفوتونات كل ذرة مســـببة تخافتها فجأة إلى مستوى أخفض مصدرة فوتونات أكثر خلال العملية. ويحرض هـــذا بدوره الإلكترونات لتصدر الفوتونات مولدة في النهاية سلســـلة من الذرات المنهارة بتريليونات التريليونات مـــن الفوتونات التي تطلق فجأة إلى الشـــعاع. لكن الشـــيء المهم هو أنه بالنســـبة إلى بعض المواد عندما يحدث هذا التدفق الهائل من الفوتونات فإنها تهتز بتوافق، أي أنها متجانسة.

(تخيـــل صفا مـــن أحجار الدومينـــو. تقع الدومينو فـــي حالة الطاقة الأخفض مستلقية فوق الطاولة، بينما تقف في حالة طاقة مرتفعة ومثارة شـــاقوليا مثل ذرات مثارة في الوســـط. إذا دفعت إحـــدى قطع الدومينو فستسبب انهيارا مفاجئا لتلك الطاقة كلها في وقت واحد، كما هي الحال بالنسبة إلى شعاع الليزر).

تتحول بعض المواد فقط إلى «ليزر»، أي أنه في بعض المواد فقط عندما يضـــرب فوتون ذرة مثارة يصدر عنها فوتون متجانس مع الفوتون الأصلي. ونتيجـــة لهذا التجانس فإنه في هذا الفيض من الفوتونات تهتز الفوتونات كلها بالتردد ذاته مولدة شـــعاعا من الليزر بثخن رأس قلم الرصاص (على عكس ما يعتقد، لا يبقى شـــعاع الليزر بثخن قلم الرصاص للأبد، فشـــعاع الليزر الذي يطلق نحو القمر على ســـبيل المثال ســـيتمدد ببطء حتى يخلق بقعة بعرض عدة أميال).

يتألف ليزرغازي بســـيط من أنبوب من غـــاز الهيليوم والنيون، وعندما ترســـل الكهرباء ضمن الأنبوب تشحن الذرات بالطاقة. إذا أطلقت الطاقة كلها دفعة واحدة ينتج شعاع من ضوء متجانس. يضخم الشعاع باستخدام مرآتين، واحدة عند كل طرف، بحيث يتردد الشعاع بينهما. إحدى المرآتين

معتمة تماما، لكن الأخرى تسمح بهروب كمية ضئيلة من الضوء عند كل مرور منتجة شعاعا ينطلق من أحد الطرفين.

نجد الليزرات اليوم في كل مكان تقريبا، من مراكز دفع الحساب في البقاليات إلى الألياف البصرية التي تنقل الإنترنت إلى الطابعات الليزرية ومسجلات الأقراص المدمجة والحواسيب الحديثة. وهي تستخدم أيضا في جراحة العيون ولإزالة الوشم وحتى في صالونات التجميل، وقد بيع أكثر من 5.4 مليارات دولار من الليزرات في العالم في العام 2004.

أنواع الليزرات والاندماج

تكتشف أنواع جديدة من الليزرات كل يوم تقريبا مع اكتشاف مواد جديدة يمكن ليزرتها وطرق جديدة لضخ الطاقة إلى الوسط، والسؤال هو: هل تناسب أي من هذه التقانات بناء مدفع شعاعي أو سيف ضوئي؟ هل يمكن بناء ليزر قوي بما يكفي لإعطاء الطاقة لنجم ميت؟ توجد اليوم أنواع كثيرة من الليزرات بحسب المادة التي تعطي الليزر والطاقة التي تحقن إلى المادة (على سبيل المثال: الكهرباء، حزم قوية من الضوء وحتى الانفجارات الكيميائية) ومن بينها:

- الليزرات الغازية

تشمل هذه الليزرات ليزرات الهليوم – نيون الشائعة جدا، التي تولد عادة شعاعا أحمر وتشحن بالطاقة بواسطة الأمواج الراديوية أو الكهرباء. وعادة فإن ليزرات الهليوم – نيون ضعيفة جدا. لكن يمكن استخدام ليزرات غاز ثنائي أكسيد الكربون للتفجير والقص واللحام في الصناعة الثقيلة، ويمكنها أن تولد حزما بطاقة هائلة غير مرئية تماما.

- الليزرات الكيميائية

تشحن هذه الليزرات القوية بالطاقة عن طريق تفاعل كيميائي، مثل حرق تيار من الإيثلين وثلاثي فلور النتروجين NF3. مثل هذه الليزرات قوية بما يكفي لتستخدم في التطبيقات العسكرية. تستخدم الليزرات

الكيميائيـــة في ليزرات الجيش الأمريكي الجوية والأرضية، وهي مصممة لإسقاط صواريخ قصيرة المدى في منتصف تحليقها.

- ليزرات الإكسايمر (Excimer)

تشـــحن هذه الليزرات طاقيا بتفاعل كيميائي أيضا غالبا ما يشـــمل غازا خاملا (على ســـبيل المثال أرغون وكريبتون وزينون) مع الفلور أو الكلور. وهي تنتج ضوءا فوق بنفسجي ويمكن أن تستخدم لنقش ترانزستورات ضئيلة على الشرائح في صناعة أنصاف النواقل أو في جراحة العين الدقيقة بالليزر.

- ليزرات الحالة - الصلبة

تألـــف أول ليزر فاعل من بلـــورة كروم - ياقوت أحمر. وســـتدعم أنواع عدة مختلفة من البلورات شعاعا ليزريا، مع اليتريوم والهولميوم والثوليوم ومواد كيميائية أخرى. وتستطيع أن تنتج نبضات قصيرة جدا بطاقة عالية من ضوء الليزر.

- ليزرات أنصاف النواقل

يمكن للديودات التي تســـتخدم بكثرة في صناعة أنصاف النواقل أن تولد الأشعة الشديدة المستخدمة في القص واللحام في الصناعة. وتستخدم كثيرا في مراكز تسديد الحســـاب بالمحلات، حيث تقرأ الرموز الخطية على المواد من هذه المحلات.

- ليزرات الصباغات

تســـتخدم هذه الليزرات الصباغات العضوية كوسط لها. وهي مفيدة جدا في توليد نبضات ضوئية قصيرة الموجة جدا تدوم غالبا لحوالي واحد على تريليون من الثانية فقط.

الليزرات والمدافع الشعاعية

مع وجود الأنواع المختلفة مـــن الليزرات التجارية وقوة الليزرات الحربية، لماذا لا توجد مدافع شـــعاعية تســـتخدم في القتال وســـاحات المعارك؟ تبدو المدافع الشـــعاعية بأنواعها المختلفة كســـلاح عادي في أفلام الخيال العلمي. لماذا لا نعمل على صناعتها؟

الجواب البسيط هو عدم توافر حزمة طاقية محمولة. سيحتاج المرء إلى حقائب طاقة صغيرة تحتوي كل منها على طاقة محطة طاقة كهربائية ضخمة، ومع ذلك يجب أن تكون صغيرة بما يكفي لتلائم حجم إبهامك. وفي الوقت الحاضر، فالطريقة الوحيدة لتطويع طاقة محطة طاقة كهربائية ضخمة هي بناء واحدة منها، لذا، فالأداة الحربية المحمولة الأصغر التي يمكنها احتواء كمية هائلة من الطاقة هي قنبلة هيدروجينية صغيرة، والتي يمكنها أن تقضي عليك وعلى الهدف أيضا.

وهناك مشكلة إضافية أخرى أيضا، وهي استقرار المادة الليزرية. نظريا ليس هناك حد للطاقة التي يمكن للمرء أن يركزها في الليزر، لكن المشكلة هي أن المادة الليزرية في مدفع شعاعي يدوي لن تكون مستقرة، فالليزرات البلورية على سبيل المثال ستسخن وتتشقق إذا ضخت كمية كبيرة من الطاقة فيها. ولذا فقد يحتاج المرء إلى خلق ليزر قوي جدا من النوع الذي قد يبخر جسما أو يحيد عدوا لاستخدام طاقة الانفجار، وفي هذه الحالة فإن استقرارية المادة الليزرية ليست محددة لأن مثل هذا الليزر لن يستخدم سوى مرة واحدة فقط.

بسبب المشاكل في صنع حزمة طاقية محمولة ومادة ليزرية مستقرة، فإن صنع مدفع شعاعي يدوي غير ممكن بالتقانة الحالية. إن المدافع الشعاعية ممكنة، لكن فقط إذا وصلت بسلك إلى مصدر لتزويد الطاقة. وربما نتمكن بواسطة التقانة النانوية من صنع بطاريات نانوية صغيرة تخزن أو تولد طاقة كافية لخلق الانفجارات الشديدة من الطاقة اللازمة لجهاز يدوي. وحاليا، كما رأينا سابقا، فإن التقانة النانوية بدائية جدا. على المستوى الذري، استطاع العلماء صنع آلات ذرية عبقرية، لكنها غير عملية، مثل الحاسب الذري والغيتار الذري. لكن من الممكن في نهاية القرن الحالي أو المقبل أن تتمكن التقانة النانوية من أن تعطينا بطاريات صغيرة يمكنها تخزين كميات هائلة من الطاقة.

تعاني السيوف الضوئية من مشكلة مماثلة، عندما ظهر فيلم حرب النجوم لأول مرة في السبعينيات، وأصبحت السيوف الضوئية اللعبة الأكثر مبيعا لدى الأطفال، أشار العديد من النقاد إلى أن من المستحيل صنع مثل هذا السلاح، فأولا من المستحيل تجميد الضوء، فالضوء ينتقل بسرعة الضوء دوما ولا يمكن جعله صلبا. وثانيا، لا تتوقف الأشعة الضوئية في

وســـط الهواء كما تفعل الســـيوف الضوئية المســـتعملة في حرب النجوم، فالأشعة الضوئية تستمر في العمل إلى الأبد. والسيف الضوئي الحقيقي سيمتد إلى السماء.

فـــي الحقيقة هناك طريقة لبناء نوع من الســـيف الضوئي باســـتخدام البلازمـــا أو غاز مؤين فائق الحرارة. يمكن جعـــل البلازما حارة بما يكفي لتلمع في الظلام وأن تقطع خلال الفولاذ. وســـيتألف ســـيف البلازما من قضيـــب نحيف ومفرغ ينســـحب من القبضة مثل التلســـكوب. وداخل هذا الأنبوب تطلق البلازما الحارة التي تهرب بعد ذلك من خلال ثقوب صغيرة موضوعـــة بانتظام على طول القضيب. ومع تدفق البلازما من المقبض إلى القضيب وخلال الثقوب فإنها تخلق أنبوبا طويلا براقا من غاز فائق الحرارة يكفي لصهر الفولاذ. يشار إلى هذا الجهاز أحيانا باسم «شعلة البلازما».

لذا من الممكن صنع جهاز بطاقة عالية يشبه السيف الضوئي، لكن كما في حال المدافع الشعاعية، عليك أن تصنع حزمة محمولة بطاقة عالية، أو أن تكون بحاجة إلى أسلاك طويلة لربط السيف الضوئي بمصدر للطاقة، أو عليك أن تصنع عبر التقانة النانوية مصدرا صغيرا للطاقة يمكنه تزويد كميات كبيرة من الطاقة.

لذا بينما يكون من الممكن صنع مدافع شـــعاعية وســـيوف ضوئية من أي نوع اليوم، فإن الأسلحة المستعملة في أفلام الخيال العلمي ليست في متناول التقانة الحالية. لكن في نهاية هذا القرن أو في القرن المقبل، ومع التطورات الحديثـــة في علم المواد والتقانـــة النانوية، قد يكون من الممكن تطوير نوع من المدفع الشعاعي مما يجعله من مستحيلات الصنف الأول.

طاقة لنجم الموت

لصنـــع مدفع ليزري مـــن نوع نجم الموت يمكنه تدميـــر كوكب وإرهاب مجـــرة كما جاء في «حـــرب النجوم» يحتاج المرء إلـــى صنع أقوى ليزر تم تصـــوره حتى الآن. في الوقت الحالي تســـتخدم بعض أقوى الليزرات على الأرض للوصـــول إلى درجات حرارة لا توجد إلا فـــي مراكز النجوم. وقد تطوع طاقة النجوم على الأرض يوما ما على شكل مفاعل الاندماج النووي.

تحاول آلات الاندماج النـــووي محاكاة ما يحدث في الفضاء الخارجي عندما يتشكل نجم لأول مرة. ينشأ النجم ككرة ضخمة لا شكل لها من غاز الهيدروجين، ثم يضغط بفعل قوة الجاذبية، وبالتالي يســـخن لتصل درجة حرارته إلى مســـتويات فلكية. يمكن لدرجة الحرارة داخل نواة النجم على ســـبيل المثال أن ترتفع إلى 50 حتـــى 100 مليون درجة مئوية، وهي كافية لتجعل نواة الهيدروجين تضرب بعضها البعض لتندمج مشكلة نواة هيليوم ومطلقة مقدارا هائلا من الطاقة. إن اندماج الهيدروجين ليشكل الهيليوم، حيث يتحول جزء صغير من الكتلة إلى طاقة انفجار للكوكب بحسب علاقة آينشتاين الشهيرة $E= mc^2$، هو مصدر الطاقة بالنسبة إلى النجوم.

هناك الآن طريقتان يحـــاول إلعلماء بهما تطويع الاندماج النووي على الأرض، وقد ثبت أنهما أصعب على التطوير مما تصور مسبقا.

الحصر الثقالي للاندماج

تدعى الطريقة الأولى للاندماج بـ «الحصر الثقالي»، وهي تستخدم أقوى الليزرات على الأرض لصنع جزء من الشـــمس في المختبر. ويعد ليزر الحالة الصلبة من زجاج النيوديميوم بشـــكل مثالي ملائمـــا لتمثيل درجات الحرارة العاليـــة جدا الموجودة في نـــواة نجم. هذه الأنظمة الليزرية هي بحجم مصنع كبيـــر، وتحتوي على بطارية من الليزرات تطلق سلســـلة من الأشـــعة الليزرية المتوازية خلال نفق طويل. ثم تصدم هذه الأشعة الليزرية عالية الطاقة سلسلة من المرايـــا الصغيرة الموضوعة حول كرة، حيث تركز المرايا الأشـــعة الليزرية بشـــكل دقيق على قرص صغير غني بالهيدروجين (مصنوع من مواد الليثيوم ديوترايـــد وهو العنصر الفعال في القنبلة الهيدروجينية) ويكون القرص عادة بحجم رأس دبوس ويزن 10 ملليغرامات فقط.

تشـــعل الأشعة الليزرية ســـطح القرص، مما يؤدي إلى تبخيره وضغط القـــرص، ومـــع انهيار القرص تتولـــد موجة صدم تصل إلـــى لب القرص رافعة درجات الحـــرارة إلى ملايين الدرجات المئوية، مما يكفي لدمج نوى الهيدروجـــين إلى الهيليوم. وتكون درجـــات الحرارة والضغط مرتفعة جدا بحيث يتحقق «معيار لوســـون»، وهو المعيار نفسه الذي يجب أن يتحقق في القنابـــل الهيدروجينية ونـــوى النجوم (ينص معيار لوســـون على أنه يجب

الوصول إلى مجال معين من درجات الحرارة والكثافة وزمن الحصر لإطلاق عملية الاندماج في القنبلة الهيدروجينية وفي نجم وفي آلة اندماج).

تطلق في عملية الحصر الثقالي كمية هائلة من الطاقة تتضمن النيوترونات (يمكن أن يصل الليثيوم ديوتيرايد إلى 100 مليون درجة مئوية وكثافة تعادل 20 مرة كثافة الرصاص). ثم ينطلق تيار من النيوترونات من القرص وتضرب النيوترونات غطاء كرويا من المادة التي تحيط بالحجرة وتقوم بتسخين الغطاء. يبخر هذا الغطاء الساخن الماء ويستخدم البخار لإدارة عنفة وتوليد الكهرباء.

لكن المشكلة تكمن في القدرة على تركيز طاقة شديدة كهذه في قرص كروي صغير جدا. كانت المحاولة الجادة الأولى لتحقيق اندماج ليزري وهي صنع ليزر شيفا، وهو نظام ليزري مؤلف من 20 شعاعا بنيا في مختبر لورنس ليفرمور الوطني (LLNL) في كاليفورنيا، والذي بدأ العمل في العام 1978 (شيفا هي الإلهة الهندوسية بأذرع عديدة والتي يحاول النظام الليزري تقليدها). كان أداء ليزر شيفا مخيبا للآمال، لكنه كان كافيا للتدليل على إمكانية تحقيق الاندماج الليزري تقنيا. استبدل نظام ليزر شيفا بعد ذلك بليزر نوفا، بطاقة 10 أمثال ليزر شيفا. لكن ليزر نوفا فشل أيضا في تحقيق إشعال مناسب للأقراص، ومع ذلك فقد مهد الطريق للبحث الحالي في مختبر الإشعال الوطني (NIF) الذي بدأ بناؤه في العام 1997 في LLNL.

إن الـ NIF الذي يفترض أن يعمل في العام 2009 (*) آلة ضخمة تتألف من بطارية من 192 شعاعا ليزريا تحزم طاقة هائلة تبلغ 700 تريليون وات (طاقة تعادل حوالي 700 ألف محطة نووية ضخمة مركزة كلها في انفجار وحيد للطاقة). إنه نظام ليزري حديث مصمم لتحقيق إشعال كامل لأقراص غنية بالهيدروجين. (أشار النقاد إلى الاستخدام العسكري الواضح لهذا المفاعل لأنه يمكن أن يحاكي انفجار قنبلة هيدروجينية، وربما يجعل من الممكن صنع سلاح نووي جديد، وهو القنبلة الاندماجية البحتة التي لا تحتاج إلى قنبلة ذرية من اليورانيوم أو البلوتونيوم لبدء تفاعل الاندماج).

(*) أجريت أولى التجارب الكبرى حول الليزر في الـ NIF بالفعل في يونيو 2009، وأعلن عن إتمام أول تجربة إشعال كامل لقياس قوة الليزر في أكتوبر 2010، أي بعد صدور هذا الكتاب [المحررة].

لكن حتى آلة الـ NIF للاندماج الليزري والتي تحتوي أقوى الليزرات على الأرض لا تســتطيع الاقتراب من الطاقة التدميريــة الهائلة لنجم الموت في حرب النجوم، ولبناء مثل هذه الآلة يجب التطلع إلى مصادر أخرى للطاقة.

الحصر المغناطيسي للاندماج

الطريقة الثانية التي يمكن للعلماء استخدامها لإعطاء الطاقة لنجم الموت تدعى «الحصر المغناطيسي»، وهي عملية يتم فيها احتواء بلازما حــارة من الهيدروجين الحــار ضمن حقل مغناطيســي. وفي الحقيقة يمكن لهذه الطريقــة أن تقدم النموذج للمفاعلات الاندماجية التجارية الأولــى. وحاليا فإن مشــروع الاندماج الأكثر تقدمــا من هذا النوع هو المفاعــل النووي الحراري الدولي التجريبي (ITER)، وفي العام 2006 قرر تحالف من عدة دول (بمن فيهم الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة والصين واليابان وكوريا وروســيا والهند) بنــاء ITER في كاداراش في جنوب فرنسا. صمم المفاعل لتسخين غاز الهيدروجين حتى 100 مليون درجة مئوية. ويمكن أن يصبح المفاعل الاندماجي الأول في التاريخ الذي يولد طاقة أكبر من تلك التي يستهلكها. لقد صمم ليولد 500 ميغاوات من الطاقة لنحو 500 ثانية (الرقم الحالي هو 16 ميغاواوت من الطاقة لنحــو ثانية). ويجب أن يولــد ITER البلازما الأولية له بحلول 2016، وأن يعمــل بالكامل في العام 2022. وبكلفة 12 مليار دولار، فســيكون ثالث أغلى مشــروع علمــي في التاريخ (بعد مشــروع مانهاتن ومحطة الفضاء الدولية).

يبــدو الـ ITER مثل كعكة دونت ضخمة، حيث يدور غاز الهيدروجين ضمن لفائف ضخمة من الأسلاك التي تلتف حول السطح. تبرد اللفائف حتــى تصبح نواقــل فائقة ثم تضخ كمية هائلة مــن الطاقة فيها لتخلق حقلا مغناطيســيا يحصــر البلازما ضمن الكعكــة. وعندما يغذى تيار كهربائي إلى داخل الكعكة يسخن الغاز لدرجات حرارة النجوم.

ويرجع ســبب اهتمام العلماء بـ ITER إلى إمكانية الحصول على مورد رخيــص للطاقة. إن الوقود الذي يزود مفاعــلات الاندماج هو ماء البحر

العادي الغني بالهيدروجين. ونظريا على الأقل، قد يزودنا الاندماج بمورد رخيص لا ينضب من الطاقة.

لماذا إذن لا نمتلك مفاعلات اندماج حتى الآن؟ لماذا استغرق الأمر عقودا كثيرة لتحقيق تقدم بعد أن اكتشف في الخمسينيات؟ المشكلة كانت في الصعوبة الجهنمية لضغط الوقود الهيدروجيني بطريقة متجانسة. في النجوم، تضغط الثقالة غاز الهيدروجين إلى كرة تامة، بحيث يسخن الغاز بشكل متجانس وسليم. في اندماج NIF الليزري، يجب أن تكون الأشعة المركزة لضوء الليزر التي تشعل سطح الحبة متجانسة تماما، ومن الصعب جدا تحقيق هذا التجانس. في آلات الحصر المغناطيسي تمتلك الحقول المغناطيسية أقطابا شمالية وأخرى جنوبية، ولذا فإن ضغط الغاز بشكل متجانس في كرة صعب جدا، وأفضل ما نستطيع عمله هو أن نولد حقلا مغناطيسيا على شكل كعكة دونت. لكن ضغط الغاز يشبه ضغط بالون، فكلما ضغطت البالون من طرف يرتفع الهواء في مكان آخر. إن ضغط البالون بشكل متجانس في الاتجاهات كلها في وقت واحد تحد صعب. يتسرب الغاز الساخن عادة من القارورة المغناطيسية ويلامس في النهاية جدران المفاعل ويغلق عملية الاندماج، وهذا هو السبب في أنه من الصعب جدا ضغط الهيدروجين بقوة كبيرة لأكثر من ثانية واحدة.

وعلى العكس من الجيل الحالي من مفاعلات الانشطار النووي، فلن يولد مفاعل الاندماج كميات كبيرة من الفضلات النووية (ينتج كل مفاعل انشطار تقليدي 30 طنا من الفضلات النووية عالية الإشعاع كل عام. وعلى النقيض من ذلك فإن الفضلات النووية المولدة من آلة اندماج ستكون الفولاذ المشع بشكل رئيس، الذي يبقى عندما يفكك المفاعل في النهاية).

لن يحل الاندماج مشكلة الطاقة للأرض نهائيا في وقت قريب في المستقبل، لقد قال الفرنسي بيير جيل دو جينس حامل جائزة نوبل في الفيزياء: «ندعي أننا سنضع الشمس في صندوق. إن الفكرة جيدة لكن المشكلة هي أننا لا نعرف كيف نصنع الصندوق». لكن إذا سار كل شيء

على ما يرام كما يأمل الباحثون فإن الـ ITER سـيمهد الطريق خلال 40 عامـا لجعل طاقة الاندماج طاقة تجارية يمكنها أن تزود بيوتنا بالكهرباء، وفي يـوم ما قد تخفف مفاعلات الاندماج مشـكلة الطاقة لدينا، مطلقة بأمان طاقة الشمس على الأرض.

لكن حتـى مفاعلات الاندماج بالحصر المغناطيسـي لن تقـدم طاقة كافية لشحن سلاح النجم الميت، ومن أجل هذا نحتاج إلى تصميم جديد مختلف تماما.

ليزرات أشعة إكس المطلقة نوويا

هناك احتمال آخر لتنشـيط مدفع ليزر نجم المـوت بالتقانة المعروفة اليوم، وهي القنبلة الهيدروجينية، ويمكن نظريا لبطارية من ليزرات أشعة إكس تطوع قوة الأسـلحة النووية وتركزها، أن تولد طاقة كافية لتشـغيل جهاز يمكنه إشعال كوكب بكامله.

تطلـق القوة النووية من الطاقة نحو 100 مليـون مرة أكثر من تفاعل كيميائي للكمية نفسـها من المادة. وتكفي قطعـة من اليورانيوم المخصب، ليست أكبر من كرة البيسبول، لإشعال مدينة بأكملها، على الرغم من أن 1 في المائة فقط من كتلتها تتحول إلى طاقة. وكما ناقشنا مسبقا هناك عدة طرق لحقن الطاقة في شـعاع الليزر، والأكثر قوة من هذه الطرق كلها هو استخدام الطاقة التي تطلقها قنبلة نووية.

ولليزرات أشـعة إكس قيمة علمية كبيـرة إضافة إلى قيمتها الحربية. فبسـبب صغر طول موجتها يمكن أن تسـتخدم لفحص المسافات الذرية واكتشـاف البنية الذرية للجزيئات المعقدة، وهـي عملية يصعب إنجازها بالطـرق العادية، وتفتـح نافذة جديدة تماما علـى التفاعلات الكيميائية عندما تسـتطيع «رؤية» الذرات نفسـها وهي تتحرك وفي ترتيبها العادي داخل الجزيء.

ولأن القنبلة الهيدروجينية تصـدر كميات هائلة من الطاقة في مجال أشـعة إكس، لذا يمكن شحن ليزرات أشعة إكس بالطاقة من سلاح نووي. إن الشـخص الأكثر تعاملا مع ليزر أشعة إكس هو الفيزيائي إدوارد تيلر، أبو القنبلة الهيدروجينية.

وتيلر بالطبع هو الفيزيائي الذي شهد أمام الكونغرس في الخمسينيات أن روبرت أوبنهايمر الذي ترأس مشـــروع مانهاتن لإنتاج القنبلة النووية لا يمكن الوثوق به للاســـتمرار في العمل على القنبلة الهيدروجينية بســـبب مبادئه السياسية. وقد أدت شهادة تيلر إلى إدانة أوبنهايمر وإلغاء بطاقته الأمنية، ولم يغفر العديد من الفيزيائيين لتيلر ما قام بفعله.

يعـــود اتصالي بتيلـــر إلى الوقت الذي كنت فيه في المدرســـة الثانوية. لقد أجريت سلســـلة من التجارب على طبيعة مضاد المادة وفزت بالجائزة الكبرى في معرض ســـان فرانسيســـكو العلمي وبرحلة إلى معرض العلوم الوطني في ألباكيركي في نيو مكسيكو. وظهرت على التلفاز المحلي مع تيلر الـــذي كان مهتما بالفيزيائيين اللامعين الصغار، وفي النهاية منحت منحة تيلر هيرتز الهندسية التي أمنت لي الدراسة في جامعة هارفارد، وتعرفت على عائلته جيدا خلال زياراتي لمنزله في بيركلي عدة مرات في العام.

يعتبر ليزر أشعة إكس لتيلر بمنزلة قنبلة نووية صغيرة محاطة بقضبان من النحاس. يطلق إشعال السلاح النووي موجة صدم كروية من أشعة إكس القوية. تمر الأشعة المشـــحونة بالطاقة خلال قضبان النحاس التي تعمل كمادة ليزرية تركز طاقة أشعة إكس في حزم شعاعية قوية. يمكن بعد ذلك توجيه حزم أشعة إكس نحو ســـلاح العدو. وبالطبع لا يمكن اســـتخدام مثل هذا السلاح أكثر من مرة واحدة لأن إشعال القنبلة النووية يسبب تفجر ليزر أشعة إكس نفسه.

دعـــي الاختبار الأولي لليزر أشـــعة إكس المدفوع بطاقـــة نووية بـ «اختبار كابـــرا»، الذي أجري في العـــام 1983 في نفق تحت الأرض. أشـــعلت قنبلة هيدروجينية ركزت تيارات أشعة إكس غير المتجانسة الناجمة عنها في حزمة متجانســـة من أشعة إكس الليزرية. اعتبرت التجربة في البداية ناجحة، وفي الحقيقة ســـاعدت في إلهام الرئيس رونالد ريغان في العام 1983 ليعلن في خطاب تاريخي رغبته في بناء درع واقية ضد «حرب النجوم»، وبالتالي أطلقت مشـــروعا بعدة مليارات الدولارات مازال مســـتمرا إلـــى اليوم لبناء مصفوفة من الأجهزة مثل ليزر أشـــعة إكس المدفوع نوويا لإســـقاط ICBM (*) العدو. (أظهرت التحريات التالية أن الجهاز المستخدم لإجراء القياسات خلال اختبار كابرا قد تحطم وبالتالي لا يمكن الوثوق بقراءاته).

(*) international ballistic missile، الصاروخ الباليستي عابر القارات.

هل يمكن لسـلاح مثير للجدل كهذا أن يستخدم اليوم لإسقاط رؤوس الصواريخ الباليسـتية الحربية؟ ربما، لكن العدو يمكنه أن يستخدم أنواعا مختلفة من الطرق البسـيطة والرخيصة لإبطال مفعول مثل هذه الأسلحة (على سبيل المثال يمكن للعدو أن يطلق ملايين الأهداف الزائفة الرخيصة لتجنب الرادار. أو يدور أسـلحته لتشـتيت أشـعة إكس. أو يصدر غلافا كيميائيا للوقاية من أشـعة إكس)، أو يمكن للعدو ببسـاطة أن ينتج رؤوسا حربية بالجملة لاختراق الدرع الواقية لحرب النجوم.

لذا فإن ليزر أشعة إكس المدفوع نوويا غير عملي اليوم كنظام واق ضد الصواريخ. ولكن هل يمكن صنع نجم موت يستخدم ضد شهاب مقترب أو لتدمير كوكب بأكمله؟

فيزياء نجم الموت

هل يمكن بناء أسـلحة لتدميـر كوكب بأكمله كما فـي حرب النجوم؟ نظريا الجواب نعم، وهناك طرق عدة لصنع ذلك.

أولا: لا يوجـد حـد فيزيائي للطاقـة التي يمكن إطلاقهـا من قنبلة هيدروجينية. وهنا كيف يتم ذلك (التفاصيل الدقيقة للقنبلة الهيدروجينية سـرية للغاية وتصنف كذلك حتى اليوم من حكومة الولايات المتحدة، لكن المخطط العام لها معروف جيدا). تصنع القنبلة الهيدروجينية عبر مراحل عـدة. وبترتيب هـذه المراحل على التسلسـل يمكن للمـرء أن ينتج قنبلة هيدروجينية بأي حجم تقريبا.

المرحلة الأولى هي القنبلة النووية العادية التي تسـتخدم قوة انشـطار اليورانيـوم 235 لإطـلاق فيـض من أشـعة إكس، كما حصـل في قنبلة هيروشـيما. وفي جزء من الثانية، قبل أن تفجر القنبلة الذرية كل شـيء، تسـبق الكرة المتمددة من أشعة إكس الانفجار النووي (لأنها تسير بسرعة الضوء) ثم يعاد تركيزها على حاوية تحتوي الليثيوم ديوتيرايد، وهي المادة الفعالـة للقنبلة الهيدروجينيـة (مازالت عملية حدوث هذا الشـيء أمرا سريا). تسبب أشعة إكس التي تضرب الليثيوم ديوتيرايد انهياره وتسخينه إلى ملايين الدرجات المئوية مسـببة انفجارا ثانيا أكبر بكثير من الانفجار

الأول. يمكن بعد ذلك إعادة تركيز أشـعة إكس مـن القنبلة الهيدروجينية على قطعة ثانية من الليثيوم ديوتيرايد مسببة انفجارا ثالثا. وبهذه الطريقة يمكـن للمرء أن يرتب حزمة من الليثيـوم ديوتيرايد جنبا إلى جنب ويخلق قنبلـة هيدروجينية بطاقـة هائلة. وفي الحقيقة فقـد تألفت أقوى قنبلة هيدروجينيـة بنيت حتى الآن مـن قنبلة بمرحلتين فجرت من قبل الاتحاد السـوفييتي في العام 1961، مطلقة طاقة مقدارهـا 50 مليـون طـن من الـ TNT على الرغم من أنها نظريا قادرة على انفجار أقوى من 100 مليون طن TNT (أو نحو 5000 مرة من قوة قنبلة هيروشيما).

ومع ذلك فإشعال كوكب بأكمله أمر مختلف تماما. وللقيام بذلك على نجم الموت أن يطلق آلاف ليزرات أشـعة إكس إلى الفضـاء، وعليها كلها أن تطلق أشعتها في الوقت نفسه (بالمقارنة، تذكر أن كلا من الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي امتلك عند ذروة الحرب الباردة نحو 30 ألف قنبلة نووية) وستكون الطاقـة المتجمعـة من مثل هذا العدد الضخم من ليزرات أشـعة إكس كافية لإشـعال سطح الكوكب، لذا من الممكن بالتأكيد لإمبراطورية كونية بعد مئات الآلاف من السنين في المستقبل أن تصنع مثل هذا السلاح.

بالنسـبة إلى حضـارة متقدمة جدا هناك خيار ثـان: صنع نجم موت يستخدم طاقة مفجر أشعة غاما. ويطلق نجم الموت هذا فيضا من الإشعاع يأتـي من حيث القوة بعد الانفجار الكبير نفسـه. توجـد مفجرات غاما بشـكل طبيعي في الفضاء الخارجي، لكن من الممكن لحضارة متقدمة أن تطوع طاقتها الهائلة. ويمكـن للمرء بالتحكم في دوران نجم قبل أن ينهار ويطلق مسـتعرا (hypernova) (*) بوقت طويل، أن يصوب مفجر أشـعة غاما على أي نقطة في الفضاء.

مفجرات أشعة غاما

ظهـرت مفجرات أشـعة غاما لأول مـرة في السـبعينيات، عندما أطلق الجيش الأمريكي القمر الصناعي فيلا (Vela) لاكتشـاف «ومضات» (دلائل على انفجار غير مرخص لقنبلة ذرية)، لكن بدلا من اكتشاف ومضات، اكتشف

(*) الهايبرنوفا، أو المستعر فوق العظيم: هو انفجار أعلى بكثير من انفجار النجوم الاعتيادي [المحررة].

القمر فيلا انفجارات إشعاعية ضخمة من الفضاء. في البداية، أثار هذا الاكتشاف الذعر في البنتاغون: هل كان السوفييت يختبرون سلاحا نوويا جديدا في الفضاء الخارجي؟ تبين بعد ذلك أن هذه الانفجارات من الإشعاع كانت تأتي متجانسة من الاتجاهات في السماء جميعها، مما يعني أنها في الحقيقة تأتي من خارج مجرة درب التبانة. لكن إذا كانت من خارج المجرة فلا بد أنها تطلق كميات هائلة حقا من الطاقة كافية لإشعال الكون المرئي بكامله.

وعندما انهار الاتحاد السوفييتي في العام 1990، أزيلت السرية فجأة عن قدر كبير من البيانات الفلكية من قبل البنتاغون، مما أذهل الفلكيين. وفجأة أدرك الفلكيون أن ظاهرة جديدة وغامضة تواجههم، وهي تحتاج إلى إعادة كتابة المراجع العلمية.

وبما أن مفجرات أشعة غاما تدوم من بضع ثوان فقط إلى بضع دقائق قبل أن تختفي، فإن الأمر يتطلب نظام استشعار متطورا لكشفها وتحليلها. تكتشف الأقمار الصناعية الانفجار الأولي للإشعاع أولا ثم ترسل الإحداثيات الدقيقة للمفجر إلى الأرض. ثم تربط هذه الإحداثيات مع مناظر إشعاعية أو بصرية تركز على الموقع الدقيق لمفجر أشعة غاما.

وعلى الرغم من أن هناك الكثير من التفاصيل التي يجب إيضاحها، فإن إحدى النظريات حول مصادر مفجرات أشعة غاما هي أنها «مستعرات» (supernovae) ذات قوة هائلة تترك ثقوبا سوداء ضخمة في إثرها. ويبدو كأن مفجرات أشعة غاما عبارة عن ثقوب سوداء ضخمة في طور التشكل.

لكن الثقوب السوداء تصدر «تيارين» من الإشعاع، أحدهما من القطب الشمالي والآخر من القطب الجنوبي، مثل غطاء دوار. ويبدو الإشعاع المرئي من مفجر بعيد لأشعة غاما كأحد التيارين المتوجهين نحو الأرض. وإذا كان تيار مفجر أشعة غاما موجها نحو الأرض، وكان مفجر أشعة غاما في مجرتنا المجاورة (تبعد بضع مئات من السنين الضوئية من الأرض)، فإن قوتها تكفي لتدمير كل أنواع الحياة على الأرض.

في البداية تصدر أشعة إكس من مفجر أشعة غاما نبضة كهرطيسية تمحو الأجهزة الإلكترونية جميعها على الأرض. وستكون أشعة إكس وأشعة غاما الشديدتان كافيتين لتخريب الغلاف الجوي للأرض وتدمير

طبقة الأوزون الواقية. ثم سـيرفع تيار مفجر أشعة غاما درجات الحرارة على سـطح الأرض، مطلقا في النهاية عواصف نارية جبارة تلف الكوكب بأكمله. وربما لن يفجر مفجر أشـعة غاما الكوكـب بأكمله كما في فيلم «حرب النجوم»، لكنه بالتأكيد سـيدمر أنواع الحياة جميعها مخلفا كوكبا قاحلا مدمرا.

ومن الممكن لحضارة أكثر تطورا من حضارتنا بمئات الآلاف من السنين إلى مليون سنة أن توجه مثل هذا الثقب الأسود باتجاه هدف ما. ويمكن أن يتم هذا بحرف مسار الكواكب والنجوم النيوترونية نحو النجم الذي يموت بزاوية دقيقة قبل أن ينهار مباشـرة. وسـيكون هذا الانحراف كافيا ليغير محـور دوران النجم، بحيث يمكن توجيهه في اتجاه معين. وسيشـكل نجم يموت أضخم مدفع شعاعي يمكن تصوره.

وفي الخلاصة، يمكن تصنيف استخدام الليزرات القوية لخلق مدافع شعاعية محمولة أو يدوية وسيوف ضوئية على أنه استحالة من الصنف الأول - أي أنه شـيء ممكن في المسـتقبل القريب أو ربما خلال قرن، لكن التحدي القوي في توجيه نجم دوار قبل أن ينفجر إلى ثقب أسـود وتحويلـه إلى نجم موت يجـب تصنيفه على أنه اسـتحالة من الصنف الثاني - وهو شـيء يبدو أنه لا يخالف قوانين الفيزياء (مفجرات غاما هـذه موجودة)، لكنه شـيء يمكن أن يكون ممكنا بعـد مئات إلى آلاف السنين في المستقبل.



4

النقل الفوري البعيد

«كم هو رائع أن نصادف معضلة، لدينا الآن بعض الأمل في تحقيق تقدم»

نيلزبور

«لا أستطيع تغيير قوانين الفيزياء أيها القبطان!»

سكوتي، كبير المهندسين في مسلسل ستارترك

النقل الفوري البعيد (Teleportation) أو القدرة على نقل شخص أو جسم فورا من مكان إلى آخر، تقانة يمكنها أن تغير مسار الحضارة وتبدل مصير الأمم، وتغير بشكل لا رجعة فيه قواعد الحرب: يمكن للجيوش أن تنقل فورا قواتها إلى خلف خطوط العدو، أو يمكنها ببساطة نقل قيادة العدو فورا والقبض عليها.

«يأمل الفيزيائيون في إجراء النقل الفوري للجزيئات المعقدة في السنوات المقبلة. ويمكن بعد ذلك إجراء النقل الفوري لجزيء الدنا أو حتى لفيروس خلال عقود»

المؤلف

وسـيصبح نظام النقل الحالي من السـيارات إلى السـفن والطائرات والسكك الحديدية وجميع الصناعات التي تخدم هذا النظام باطلا، إذ يمكننا ببساطة نقل أنفسنا فورا إلى العمل، ونقل بضاعتنا إلى السوق. وسـنمضي العطل بلا جهد مع نقلنا أنفسـنا إلى هدفنا. سيغير النقل الفوري كل شيء.

يمكـن العثور علـى أول ذكر للنقل الفـوري [1] في الكتـب الدينية كالإنجيل، حيث تحمل الأرواح الأشخاص بعيدا. ويبدو أن الفقرة التالية من سـفر أعمال الرسل في العهد الجديد تقترح النقل الفوري لفيلبس من غزة إلى أشـدود: «ولما صعدا من الماء خطف روح الرب فيلبس فلم يبصره الخصي أيضا وذهـب في طريقه فرحا، وأما فيلبس فوجد في أشدود، وبينما هو مجتاز كان يبشر جميع المدن حتى جاء إلى قيصرية». (الأعمال. الإصحاح الثامن 36 - 40)(*).

والنقل الفوري هو أيضا جزء من كيس الحيل والخدع لأي سـاحر: سـحب الأرانب من القبعة، وأوراق اللعب من أكمامه، والنقود من خلف أذن شخص ما. وتمثلت إحدى الخدع السحرية الأكثر طموحا في الأيام الماضيـة في فيل يختفي أمام أعين الجمهور المندهش. في هذه الحيلة وضـع فيل ضخم يزن عـدة أطنان داخل قفص. ثم بإشـارة من عصا الساحر اختفى الفيل مع دهشة الجمهور (**). (بالطبع لم يختف الفيل، بل أجريت الخدعة بواسطة المرايا. فقد وضعت شرائط طويلة ونحيفة وشـاقولية من المرايا خلف كل قضيب في القفص. وكبوابة يمكن تدوير كل من هذه المرايا الشاقولية. وعند بداية الخدعة السحرية تكون المرايا الشـاقولية كلها موضوعة خلف القضبان، ولا يمكن رؤية المرايا ويكون الفيل واضحا. لكـن عندما تدور المرايا بزاوية 45 درجة مئوية لمواجهة الجمهور يختفي الفيل ويترك الجمهور وهو يحملق في الخيال المنعكس من جانب القفص).

(*) يحيـل الكتاب الأصلي إلى الفقـرات 36 - 40 من الإصحاح الثامن (Acts 8 : 36 - 40) بينما المقتبس هنا هو من الفقرتين 39 و40 فقط [المحررة].

(**) هي إحدى أشهر الخدع السحرية التي أداها بول دانيلز، الساحر البريطاني المعروف ببرنامجه التلفزيوني الذي عرض على قناة البي بي سي في السنوات 1979 إلى 1994 [المحررة].

النقل الفوري البعيد والخيال العلمي:

ذكر النقل الفوري في قصص الخيال العلمي لأول مرة في قصة إدوارد بيج ميتشل «الرجل بلا جسم» والتي نشرت في العام 1877. في تلك القصة استطاع عالم أن يفكّك ذرات قطة، وينقلها عبر سلك التلغراف. ولكن لسوء الحظ نفدت البطارية بينما كان العالم يحاول نقل ذرات جسمه. ولذا فقد انتقل رأسه فقط بنجاح.

تأثر السير آرثر كونان دويل، المعروف من خلال روايات شرلوك هولمز [2]، بفكرة النقل الفوري البعيد. وبعد سنوات من كتابة روايات المفتش وقصصه القصيرة بدأ يمل من كتابة سلسلة شرلوك هولمز، وفي النهاية أنهى مفتشه وجعله يسقط حتى الموت مع البروفسور موريارتي من أعلى شلال مائي. لكن احتجاج الجمهور كان قويا جدا بحيث اضطر دويل إلى إعادة إحياء المفتش هولمز مرة أخرى. ولأنه لم يستطع قتل شرلوك هولمز، قرر دويل بدلا من ذلك أن يخلق سلسلة جديدة تماما محورها البروفسور تشالنجر، الذي كان نظير شرلوك هولمز. فكلاهما يمتلك نكتة سريعة وعينا ثاقبة لحل الألغاز. ولكن بينما استخدم السيد هولمز منطق المفتش البارد ليحل القضايا المعقدة، اختبر البروفسور تشالنجر عالم الروح المظلم وظواهر ما وراء الطبيعة (paranormal) بما في ذلك النقل الفوري البعيد. وفي روايته في العام 1927 «آلة التفكيك»، صادف البروفسور رجلا اخترع آلة يمكنها تفكيك شخص ما ثم تجميعه في مكان آخر. لكن البروفسور تشالنجر جزع عندما تفاخر المخترع بأن آلته يمكنها في أيد خاطئة أن تفكك مدنا تحوي ملايين البشر بكبسة زر. يستخدم البروفسور تشالنجر بعد ذلك الآلة لتفكيك المخترع، ثم يغادر المختبر من دون أن يعيد تجميعه.

أخيرا اكتشفت هوليوود النقل الفوري البعيد. وفي العام 1958 فحص فيلم «الذبابة» بالصورة ما الذي يمكن أن يحدث عندما يضل النقل الفوري طريقه. فعندما ينجح عالم بنقل نفسه فورا عبر غرفة، تختلط ذرات جسمه مع ذبابة تدخل بالمصادفة غرفة النقل الفوري، وبذا يتحول العالم إلى وحش ممسوخ بشع نصفه بشر ونصفه الآخر ذبابة (أعيد إنتاج الفيلم ببطولة جيف غولدبلم في العام 1986).

انتشر النقل الفوري في الثقافة الشعبية مع مسلسل ستار ترك. أدخل جين رودينبري، كاتب مسلسل ستار ترك، النقل الفوري في المسلسل لأن ميزانية استديو شركة باراماونت لم تسمح للتأثيرات الخاصة المكلفة اللازمة لتحريض انطلاق سفن صاروخية إلى كواكب بعيدة وهبوطها. وكان الأرخص من ذلك إطلاق ملاحي سفينة إنتربرايز ببساطة شعاعيا إلى هدفهم.

وخلال السنوات الماضية أثار العلماء عددا كبيرا من الاعتراضات على إمكانية النقل الفوري. فمن أجل نقل شخص ما فوريا عليك أن تعرف الموقع الدقيق لكل ذرة في جسمه الحي. والذي يمكن أن يناقض مبدأ عدم التأكد لهايزنبرغ (الذي ينص على أنه لا يمكنك معرفة الموقع الدقيق وسرعة الإلكترون في آن واحد). أدخل منتجو مسلسل ستار ترك، بالانسياق وراء النقاد، «معوّضات هايزنبرغ» في غرفة النقل. كأن في إمكان شخص ما أن يعوض لقوانين فيزياء الكوانتم بإضافة جهاز إلى الناقل. ولكن كما ظهر بعد ذلك، ربما كانت الحاجة إلى خلق معوضات هايزنبرغ متسرعة. فلربما كان العلماء والنقاد الأوائل مخطئين.

النقل الفوري ونظرية الكوانتم (الكمومية)

وفق نظرية نيوتن، فإن النقل الفوري مستحيل. فنظرية نيوتن تقوم على فكرة أن المادة مصنوعة من كرات بلياردو صغيرة وصلبة. ولا تتحرك الأجسام ما لم تدفع، ولا يمكن للأجسام أن تختفي فجأة ثم تظهر في مكان آخر.

ولكن في نظرية الكوانتم هذا ما يمكن للجسيمات أن تقوم به بالضبط. لقد أطيح بقوانين نيوتن التي ظلت صالحة لـ 250 عاما في العام 1925، عندما طور فيرنر هايزنبرغ وإرفين شرودينغر وزملاؤهما نظرية الكوانتم. فعندما حلل الفيزيائيون الخصائص الغريبة للذرات، اكتشفوا أن الإلكترونات تعمل كموجة ويمكنها أن تحقق قفزات كمومية في حركتها العشوائية ظاهريا ضمن الذرة.

إن الرجل الأقرب ارتباطا بالأمواج الكمومية هو الفيزيائي النمساوي إرفين شرودينغر، الذي كتب المعادلة الشهيرة التي تحمل اسمه وهي المعادلة الأهم في الفيزياء والكيمياء كلها. وتخصص برامج دراسية كاملة

في الجامعات لحل هذه المعادلة الشهيرة، كما تمتلئ جدران كاملة من مكتبات الفيزياء بكتب تفحص نتائجها العميقة. ومن حيث المبدأ يمكن اختزال الكيمياء بكاملها على شكل حلول لهذه المعادلة.

برهن آينشتاين في العام 1905 أن لأمواج الضوء خصائص الدقائق؛ أي يمكن وصفها كأجزاء من الطاقة تدعى الفوتونات. ولكن مع حلول العشرينيات أصبح من الواضح لشرودينغر أن المقابل لذلك صحيح أيضا. وهو أن الجسيمات مثل الإلكترونات يمكن أن تظهر تصرفا شبيها بالموجات. أشار الفيزيائي الفرنسي لوي دي بروي لأول مرة لهذه الظاهرة، ونال جائزة نوبل على ذلك. (نوضح ذلك لطلبة الجامعة لدينا. نطلق إلكترونات داخل أنبوب أشعة مهبطي، مثل تلك الموجودة عادة في التلفاز. تمر الإلكترونات خلال ثقب ضئيل، وبالتالي تتوقع عادة أن ترى بقعة ضئيلة حيث تصدم الإلكترونات شاشة التلفاز. لكن بدلا من ذلك تجد حلقات متمركزة، تشبه الموجات، كما تتوقع لو مرت موجة خلال الثقب وليس دقيقة محددة).

ألقى شرودينغر يوما محاضرة حول هذه الظاهرة الغريبة. وقد تحداه زميل فيزيائي له يدعى بيتر ديبي الذي سأله: إذا كانت الإلكترونات توصف على أنها موجات، ما هي معادلتها الموجية؟

ومنذ أن اخترع نيوتن علم التفاضل، استطاع الفيزيائيون وصف الموجات بمعادلات تفاضلية. لذا اعتبر شرودينغر سؤال ديبي بمنزلة تحد لكتابة معادلات تفاضلية للموجات الإلكترونية. في ذلك الشهر ذهب شرودينغر في عطلة، وعندما عاد كانت المعادلة بحوزته. وبالطريقة نفسها التي أخذ فيها ماكسويل قبله حقول القوة لفارادي واستخلص منها معادلات ماكسويل للضوء، أخذ شرودينغر أمواج المادة لديبروغلي واستخلص معادلات شرودينغر للإلكترونات.

(بذل مؤرخو العلم بعض الجهد وهم يحاولون تقفّي ما كان يفعله شرودينغر عندما اكتشف معادلته الشهيرة التي غيّرت للأبد مشهدي الفيزياء والكيمياء الحديثين. ويبدو أن شرودينغر كان يؤمن بالحب المتحرر، وكثيرا ما اصطحب عشيقاته مع زوجته خلال عطلته. حتى إنه

احتفظ بوصف مفصّل في مفكرته لعشـــيقاته الكثر، وبرموز واضحة حول كل علاقة. ويعتقد المؤرخون الآن أنه كان في فيلا هيرويغ في جبال الألب مع إحدى عشيقاته في عطلة نهاية الأسبوع التي اكتشف فيها معادلته).

عندما بدأ شـــرودينغر بحل العلاقة لذرة الهيدروجين وجد، لدهشـــته الشديدة، مستويات الطاقة للهيدروجين التي صنفت بعناية من الفيزيائيين السابقين بدقة. وقد أدرك بعد ذلك أن الصورة القديمة للذرة من قبل نيلز بور التي تظهر الإلكترونات وهي تدور حول النواة (والتي مازالت تستخدم إلـــى اليوم فـــي الكتب والإعلانات التي ترمز إلـــى العلم الحديث) هي في الحقيقة خاطئة. ويجب استبدال هذه المدارات بموجات تحيط بالنواة.

أطلق عمل شرودينغر موجات صدم سرت خلال عالم الفيزياء بأكمله. فجـــأة تمكّن الفيزيائيون من التحديق داخل الذرة نفســـها لفحص الأمواج التي تشـــكل أغلفتهـــا الإلكترونية بالتفصيل، واســـتخلاص تنبؤات دقيقة لمستويات الطاقة تلائم البيانات تماما.

لكـــن مازال هناك ســـؤال ملح يطـــارد الفيزياء حتى اليـــوم. إذا كانت الإلكترونات توصف بموجة، فما الذي يسبب التموّج إذن؟ أجاب الفيزيائي ماكس بورن عن هذا السؤال بقوله إن هذه الأمواج هي في حقيقتها أمواج احتمـــال. إن هذه الأمواج تخبرك فقط باحتمال العثور على إلكترون معين في مكان ما عند وقت ما. وبعبارة أخرى، فالإلكترون جسيم، لكن احتمال العثور على هذا الجســـيم يعطى بمعادلة شـــرودينغر الموجية. فكلما كبرت الموجة زاد احتمال العثور على الجسيم عند تلك النقطة.

وبهذه التطـــورات أدخلت المصادفة والاحتمال فجأة إلى قلب الفيزياء، وقـــد قدما لنا مـــن قبل تنبؤات دقيقة ومســـارات مفصلة للأجســـام من الكواكب إلى المذنبات وقذائف المدافع.

فـــي النهاية صيغ عدم التأكد هذا من قبـــل هايزنبرغ [3] عندما اقترح مبدأ عدم التأكد، أي الفكرة بأنك لا تســـتطيع أن تعرف ســـرعة إلكترون ومكانه بدقة في الوقت ذاته. ولا يمكنك أيضا معرفة طاقته بدقة مقاســـة خـــلال فترة زمنية معينة. وعلى مســـتوى الكوانتم تختـــرق قوانين التفكير الســـليم الأساســـية كلها: يمكن للإلكترونات أن تختفي ثم تظهر في مكان آخر، ويمكن لها أن تكون في أماكن عدة في الوقت ذاته.

(وللمفارقــة، فقد انزعج آينشــتاين، عراب نظريــة الكوانتم الذي ساعد في بدء الثورة في العام 1905، وشرودينغر، الذي أعطانا المعادلة الموجيــة، من إدخال الاحتمال في الفيزياء الأساســية. كتب آينشــتاين يقول «تســتوجب ميكانيكا الكوانتم قدرا كبيرا من الاحترام. لكن صوتا داخليا يقول لي إنها ليســت الحقيقة النهائية. إن النظرية تقدم الكثير، لكنها لا تقربنا من ســر الإله. وبالنسبة إلي على الأقل، فأنا مقتنع بأنه لا يلعب النرد» [4].

كانت نظرية هايزنبــرغ ثورية ومثيرة للجدل - لكنها نجحت. وبضربة واحدة اســتطاع الفيزيائيون أن يفســروا مجموعة واســعة من الظواهر المحيــرة، بما في ذلك قوانين الكيمياء. ولجعل طلابي للدكتوراه يشــعرون بغرابــة نظريــة الكوانتم، كنت أطلب منهم في بعض الأحيان أن يحســبوا احتمال انحلال ذرات أجسادهم فجأة ثم عودتها إلى الظهور على الطرف الآخر لجدار من القرميد. إن ظاهرة النقل الفوري مســتحيلة وفق قوانين نيوتــن، لكنها ممكنة وفق نظرية الكوانتم. لكــن الجواب هو أن على المرء أن ينتظر لفترة أطول من عمر الكون نفســه ليحدث هذا. (إذا استخدمت حاســوبا لتخطيط موجة شرودينغر لجسمك، ســتجد أن المخطط يشبه كثيرا ملامح جســمك كلها، عدا أن المخطط ســيكون مبعثرا بعض الشيء حيث تهتز بعض موجاتك في الاتجاهات كلها. وسوف تمتد بعض موجاتك حتى النجوم البعيدة. لذا هناك احتمال ضئيل جدا أنك ستســتيقظ يوما لتجد نفسك على كوكب بعيد).

تشكل حقيقة وجود الإلكترونات في أماكن عدة في الوقت ذاته أساس الكيمياء. إننا نعلم أن الإلكترونات تدور حول نواة الذرة، مثل نموذج مصغر عن النظام الشمســي. لكن الذرات والأنظمة الشمسية مختلفة جدا. فإذا ارتطم نظامان شمسيان في الفضاء الخارجي، تتحطم الأنظمة الشمسية وترمى في الفضاء العميق. ولكن عندما ترتطم الذرات فإنها غالبا تشــكل جزيئات مستقرة وتتشارك في الإلكترونات. وفي درس كيمياء في الثانوية غالبا ما يمثل الأستاذ هذا بـ«إلكترون ملطخ»، يشبه كرة قدم يربط الذرتين إحداهما بالأخرى.

لكــن نادرا ما يخبر أســاتذة الكيميــاء طلابهم بــأن الإلكترون ليس «ملطخا» بين الذرتين على الإطلاق. وتمثل «كرة القدم» هذه في الحقيقة احتمــال وجود الإلكترون في أماكن عدة في الوقت ذاته ضمن كرة القدم. وبعبارة أخــرى، فإن الكيمياء كلها التي تفســر الجزيئات في أجســامنا مؤسســة على فكــرة أن الإلكترونات يمكن أن تكون فــي أماكن عدة في الوقت ذاته، وأن هذه المشــاركة للإلكترونات بين الذرتين هي التي تمسك جزيئات أجســامنا بعضهــا مع بعض. ومن دون نظرية الكوانتم ســتنحل جزيئاتنا وذراتنا فورا.

استغل دوغلاس آدمز هذه الخاصة الغريبة لكن العميقة لنظرية الكوانتم (وهي احتمال حدوث حتى أكثر الحوادث غرابة) في روايته المضحكة «دليل المسافر المتطفل إلى المجرة». لقد احتاج إلى طريقة ملائمة للتجوال خلال المجرة، وبالتالي فقد اخترع محركا دعاه محرك عدم الاحتمال اللامتناهي وهو «طريقة جديدة رائعة لعبور مسافات نجمية هائلة في جزء ضئيل جدا من الثانية، من دون ذلك التجوال الصعب في الفضاء الفائق». وتمكنك آلته من تغيير احتمال حدوث أي حادث كما تشــاء، بحيث يمكن حتى للحوادث غيــر الممكنة جــدا أن تصبح عادية. وإذا أردت الطيــران إلى أقرب نظام نجمي يمكنك ببســاطة تغيير احتمال التكــوّن من جديد على ذاك النجم، وستنتقل فورا إلى هناك.

لا يمكن في الواقع تعميم «القفزات» الكمومية الشــائعة جدا داخل الذرة بسهولة على الأجسام الكبيرة كالبشر، التي تحتوي على تريليونات التريليونات من الذرات. وحتى لو كانت الإلكترونات في أجسامنا ترقص وتقفز في دورانها الرائع حول النواة، بيد أن هناك عددا كبيرا جدا منها بحيث تتعادل حركتها. وهذا هو السبب تقريبا في أن المواد تبدو لنا صلبة ودائمة.

لذا بينما يســمح بالانتقال الفوري على المســتوى الذري، على المرء أن ينتظر أكثر من عمر الكون ليرى فعلا هذه التأثيرات الغريبة على المستوى الكبير. ولكن هل يستطيع المرء استخدام قوانين نظرية الكوانتم لصنع آلة نقــل فوري وفق الطلــب كما في قصص الخيال العلمــي؟ من العجيب أن الجواب هو «نعم» مشروطة.

تجربة الـ EPR

يعود أساس فكرة النقل الكمومي لورقة مشهورة لألبرت آينشتاين وزميليه بوريس بودولسكي ونيثن روزن الذين، وللمفارقة، اقترحوا تجربة الـ EPR (على اسم المؤلفين الثلاثة) لقتل فكرة إدخال الاحتمالية إلى الفيزياء مرة وللأبد. (كتب آينشتاين متذمرا من النجاحات التجريبية التي لا تنكر لنظرية الكوانتم [5]: «كلما أحرزت نظرية الكوانتم نجاحا أكبر، بدت أكثر سخفا».

إذا اهتز إلكترونان من البداية بتوافق (وهي حالة تدعى تناغم) فيمكنهما أن يظلا في تناغم موجي حتى لو فصلت بينهما مسافة كبيرة. وعلى الرغم من أن الإلكترونين قد يبعدان أحدهما عن الآخر سنوات ضوئية، فلاتزال هناك موجة شرودينغر غير مرئية تربط بينهما كالحبل السري. ولو حدث شيء ما لأحد الإلكترونين فستنتقل بعض المعلومات فورا إلى الإلكترون الآخر. ويدعى هذا بـ «التواصل الكمومي» وهو المبدأ الذي ينص على أن الجسيمات التي تهتز بتناغم لها نوع من الاتصال العميق الذي يربطها بعضها ببعض.

دعنا نبدأ بإلكترونين متناغمين يهتزان بتزامن. دعهما يقفزا بعيدا في اتجاهين متناقضين. كل إلكترون هو بمنزلة قمة دوارة. يمكن لدورات كل إلكترون أن تتجه للأعلى أو للأسفل. دعنا نفترض أن الدوران الكلي للنظام هو صفر، بحيث لو دار أحد الإلكترونات للأعلى فستعلم آليا أن دورة الإلكترون الآخر هي للأسفل. وفق نظرية الكوانتم، قبل أخذ قياس، لا يدور الإلكترون للأعلى ولا للأسفل لكنه موجود في حالة دنيا بحيث يلف للأعلى وللأسفل في الوقت نفسه. (ولا تكاد تجري قياسا حتى «ينهار» التابع الموجي تاركا جسيما في حالة محددة).

الآن قس دوران أحد الإلكترونين. ليكن دورانه نحو الأعلى. إذن أنت تعلم فورا أن دوران الإلكترون الآخر سيكون نحو الأسفل. وحتى لو كان الإلكترونان مفصولين أحدهما عن الآخر بعدد من السنوات الضوئية، فإنك ستعلم فورا دوران الإلكترون الثاني فور قياسك لدوران الإلكترون الأول. وفي الحقيقة، فستعلم هذا بسرعة أكبر من سرعة الضوء. ولأن

هذيــن الإلكترونين «متواصلان»، أي أن تابعــي موجتيهما يهتزان بتزامن، فإن تابعي موجتيهما متصلان بـ «خيط غير مرئي أو بحبل مشيمة سري». ومهما يحدث لأحدهما فإن له تأثيرا مباشــرا في الآخر. (وهذا يعني من أحد الوجوه أن ما يحدث لنا يؤثر آليا في الأشــياء بصورة فورية في زوايا نائية من الكون، لأن توابع موجاتنا ربما كانت متصلة منذ بدء الخليقة. أي بمعنى ما هناك شــبكة من الترابط تربط الزوايا البعيدة للكون بمن فيهم نحن). لقد دعا آينشــتاين هذا بـ «عمل شــبحي من بعد»، وقد مكّنته هذه الظاهــرة من «البرهان» على أن نظرية الكوانتم خاطئة وفق اعتقاده، لأنه لا شيء يمكنه أن ينتقل أسرع من سرعة الضوء.

في البداية صمم آينشتاين تجربة EPR لتكون بمنزلة نذير موت نظرية الكوانتم. لكن ألان آســبيكت وزملاءه أجروا هذه التجربة في فرنســا في الثمانينيات باستخدام كاشفين يبعد أحدهما عن الآخر 13 مترا، وقاسوا دوران الفوتونات الصادرة عن ذرات الكالســيوم. وقد أيدت النتائج نظرية الكوانتم بدقة.

هل تنتقل المعلومات حقا بســرعة أعلى من ســرعة الضوء؟ هل أخطأ آينشتاين بقوله إن سرعة الضوء هي السرعة القصوى المحددة للكون؟ ليس حقا. لقد انتقلت المعلومات بســرعة أعلى من ســرعة الضوء، لكنها كانت معلومات عشوائية وبالتالي لا فائدة منها. لا يمكنك إرسال رسالة حقيقية أو شــيفرة مــورس من خلال تجربة الـ EPR حتى لو انتقلــت المعلومات بسرعة أعلى من سرعة الضوء.

إن معلومة دوران إلكترون على الطرف الآخر من الكون للأسفل معلومة لا فائدة منها. لا يمكنك إرســال مخزون الاقتباسات اليوم بهذه الطريقة. على ســبيل المثال، دعنا نقل إن صديقــا لنا يلبس دوما جرابا أحمر وآخر أخضر عشــوائيا. دعنا نفترض أنك فحصت إحــدى قدميه وكانت تلبس جرابا أحمر. عندها ســتعرف بســرعة أكبر من سرعة الضوء أن الجراب الآخر أخضر اللون. إذن لقد انتقلت المعلومة هنا بســرعة أكبر من سرعة الضــوء، لكن هــذه المعلومة لا فائــدة منها. لا يمكن إرســال معلومة غير عشوائية تحتوي على إشارة بهذه الطريقة.

لسنوات استخدمت تجربة EPR كمثال على النصر العظيم الذي حققته نظرية الكوانتم على منتقديها، لكنه كان نصرا فارغا من دون نتائج عملية ملموسة حتى الآن.

النقل الفوري الكمومي

تغير كل شيء في العام 1993 عندما برهن علماء يقودهم تشارلز بينيت في شركة IBM [6] على أنه من الممكن فيزيائيا نقل الأجسام على الفور على المستوى الذري على الأقل باستخدام تجربة EPR (بينوا بشكل أكثر دقة أنه يمكنك نقل المعلومات ضمن الجسيم كله). ومنذ ذلك الوقت تمكّن الفيزيائيون من نقل فوتونات وحتى ذرات سيزيوم بكاملها. وقد يستطيع العلماء خلال عدة عقود نقل أول جزيء دنا وأول فيروس.

يستغل النقل الفوري الكمومي بعض الخصائص الغريبة لتجربة EPR. يبدأ الفيزيائيون في تجارب النقل الفوري هذه بذرتين A وC. دعنا نقل إننا نريد نقل المعلومة من الذرة A إلى الذرة C. نبدأ بإدخال ذرة ثالثة B، والتي تبدأ مرتبطة مع C، بحيث تكون B وC مرتبطتين. الآن تتصل الذرة A بالذرة B. تمسح A الذرة B بحيث ينتقل المحتوى المعلوماتي للذرة A إلى الذرة B. وبذلك تصبح A وB مرتبطتين في هذه العملية. ولكن بما أن B وC مرتبطتان أصلا، فإن المعلومة ضمن A قد انتقلت الآن إلى الذرة C. أي أن النتيجة هي الانتقال الفوري للذرة A إلى الذرة C. أي أن المعلومة في الذرة A مطابقة تماما للمعلومة في الذرة C.

لاحظ أن المعلومة ضمن الذرة A قد دمّرت (أي أنه لن تكون لدينا نسختان بعد عملية النقل الفوري). ويعني هذا أن أي شخص ينقل نقلا فوريا سيموت في أثناء العملية. ولكن المحتوى المعلوماتي لجسمه سيظهر في مكان آخر. لاحظ أيضا أن الذرة A لم تنتقل إلى موقع الذرة C. على العكس من ذلك فإن المعلومة ضمن الذرة A (الدوران والاستقطاب على سبيل المثال) هي التي انتقلت إلى الذرة C. (ولا يعني هذا أن الذرة A قد انحلّت ثم انتقلت إلى موقع آخر. إن هذا يعني أن المحتوى المعلوماتي للذرة A قد انتقل إلى ذرة أخرى C).

ومنذ الإعلان الأولي عن هذا الاكتشـاف أصبح التنافس شـديدا بين المجموعـات البحثية المختلفـة. وحدثت التجربة التاريخيـة الأولى للنقل الفوري الكمومي لفوتونات الضوء فوق البنفسـجي في جامعة إنغسبورك في العام 1997. وقد اتبعت هذه التجربة في السنة التالية من قبل باحثين فـي جامعة كاليفورنيـا التقنية الذين أجروا تجربة أكثر دقة تشـمل نقلا فوريا للفوتونات.

وفي العام 2004 استطاع فيزيائيون من جامعة فيينا نقل جسيمات من الضوء لمسافة أبعد من 600 متر تحت نهر الدانوب باستخدام سلك من الألياف البصرية مسـجلين بذلك رقما قياسـيا جديدا. (كان طول السلك نفسه 800 متر، وقد مد أسفل نظام الصرف الصحي تحت نهر الدانوب. وقف المرسـل عند أحد طرفي نهر الدانوب ووقف المسـتقبل على الطرف الآخر).

كان أحـد الانتقادات لهذه التجارب هو أنها أجريت على النقل الفوري للفوتونـات الضوئية. وليس هذا من النوع الذي يحكى في قصص الخيال العلمـي. ولذا كانت تجربة النقل الفوري الكمومـي في العام 2004 على الـذرات الفعلية وليس على الفوتونات الضوئيـة بمنزلة خطوة مهمة نحو جهـاز نقل فوري أكثر واقعية. واسـتطاع الفيزيائيون فـي المعهد الوطني للمواصفات والتقانة في واشنطن ربط ثلاث ذرات بريليوم ونقل خصائص إحداها إلى ذرة أخرى بنجاح. كان هذا الإنجاز مهما جدا بحيث إنه نشـر على غلاف مجلة نيتشـر. واسـتطاعت مجموعة أخرى من الباحثين نقل ذرات الكالسيوم أيضا.

حصل تقدم آخر مثير في العام 2006، عندما أجري نقل فوري لجسم كبير لأول مرة. استطاع فيزيائيون من معهد ماكس بلانك في ألمانيا ومعهد نيلز بور في كوبنهاغن ربط شـعاع من الضوء مع غاز من ذرات السيزيوم، وهـي عملية تضمنـت تريليونات تريليونـات الذرات. ثم قاموا بتشـفير معلومات ضمن نبضات ليزرية واسـتطاعوا نقل هذه المعلومات نقلا فوريا إلى ذرات السيزيوم على مسافة نصف ياردة تقريبا. «ولأول مرة»، كما ذكر يوجـين بولزيك أحد الباحثين [7]، «أنجز نقـل فوري كمومي بين الضوء- حامل المعلومات - والذرات».

النقل الفوري من دون ترابط

يتسارع التطور في النقل الفوري بسرعة. وفي العام 2007 حدث اختراق آخر. اقترح الباحثون طريقة للنقل الفوري لا تعتمد على الترابط. ولنتذكر أن الترابط هو أصعب خصائص النقل الكمومي. وبحل هذه المشكلة يمكن فتح آفاق جديدة في النقل الفوري.

«نتكلم عن شعاع مكون من 5 آلاف جسيم [8] يختفي من مكان ويعود للظهور في مكان آخر»، يقول الفيزيائي آستون برادلي من مركز التميز للبصريات الذرية الكمومية التابع لهيئة البحوث الأسترالية في بريزبين أستراليا والذي ساعد في اكتشاف طريقة جديدة للنقل الفوري.

ويدّعي أننا «نشعر بأن طريقتنا أقرب إلى فكرة المبدأ الخيالي الأصلي». يستخدم برادلي مع زملائه شعاعا من ذرات الروبيديوم ويحول معلوماته كلها إلى شعاع من الضوء، ثم يرسل هذا الشعاع الضوئي عبر سلك من الألياف البصرية، ثم يعيد تشكيل الشعاع الأصلي من الذرات في موقع بعيد. ولو تحقق ادعاؤه فستزيل هذه الطريقة أكبر مشكلة أمام النقل الفوري وستفتح مجالات جديدة واسعة للنقل الفوري لأجسام تزداد ضخامة.

ولتمييز هذه الطريقة الجديدة من النقل الفوري الكمومي دعا الدكتور برادلي هذه الطريقة «النقل الفوري الكلاسيكي». (لكن هذا خادع بعض الشيء، لأن طريقته تعتمد بشدة أيضا على نظرية الكوانتم ولكنها لا تعتمد على فكرة الترابط).

إن المفتاح لهذا النموذج الجديد من النقل الفوري هو حالة جديدة من أحوال المادة دعيت «متكاثف بوز - آينشتاين» أو BEC، والذي هو أحد أبرد العناصر في الكون بكامله. وفي الطبيعة فإن أبرد درجة حرارة توجد في الفضاء الخارجي، وهي 3 كلفن فوق الصفر المطلق. (يعود هذا إلى الحرارة المتبقية من الانفجار الكبير التي ما زالت تملأ الكون). لكن الـ BEC هي واحد من مليون إلى مليار درجة فوق الصفر المطلق، وهي درجة حرارة يمكن العثور عليها في المختبر فقط.

عندما تبرد أشكال معينة من المادة إلى قرب الصفر المطلق، تهبط ذراتها إلى أخفض مستوى للطاقة، بحيث تهتز كلها بتزامن وتصبح متناسقة. وتتداخل التوابع الموجية للذرات كلها بعضها مع بعض بحيث

تصبـــح الـــ BEC بمعنى مـــا «ذرة فائقة» ضخمة، حيـــث تهتز الذرات المنفـــردة كلها بالتزامن. وقد تنبأ آينشـــتاين وبوز بهـــذه الحالة الغريبة للمادة في العام 1925، ولكن الأمر اســـتغرق سبعين عاما أخرى إلى أن شكّل الـ BEC في النهاية في المختبر في معهد ماسا تشوستس للتقنية MIT وفي جامعة كولورادو.

وفي ما يلي شرح لكيفية عمل جهاز النقل الفوري لبرادلي وزملائه. بدأوا في البداية بمجموعة من ذرات الروبيديوم فائقة البرودة في حالة الـ BEC (المصنوعة أيضا من ذرات الروبيديوم). تميل هذه الذرات في الشـــعاع إلى السقوط إلى حالة الطاقة الأدنى وصرف طاقتها الفائضة على شـــكل نبضة من الضوء. ثم يرســـل شـــعاع الضوء هذا عبر سلك من الأليـــاف البصرية. ومن المدهش أن شـــعاع الضوء يحتوي على كل المعلومـــات الكمومية اللازمة لوصف شـــعاع المـــادة الأصلي. (أي موقع ذراته كلها وسرعتها). ثم يصدم شعاع الضوء بـ BEC آخر يحوّل شعاع الضوء إلى شعاع مادة أصلي.

ولطريقة النقـــل الفوري الجديدة هذه مســـتقبل واعد لأنها لا تتطلب ترابـــط الذرات. لكن لهذه الطريقة مشـــاكلها أيضا. فهي تعتمد بقوة على خصائـــص الـ BEC التي يصعب تصنيعها في المختبر. والأكثر من ذلك أن خصائص الـ BEC غريبة نوعا ما لأنها تتصرف كأنها ذرة واحدة ضخمة. ومن حيث المبدأ، فإن التأثيرات الكمومية الغريبة التي نراها على المستوى الـــذري فقط يمكـــن رؤيتها بالعين المجردة مـــع BEC. لقد اعتقد أن هذا مستحيل فيما مضى.

كان التطبيـــق العملي المباشـــر للـ BEC هو تصنيـــع «ليزرات ذرية». والليزرات بالطبع مبنية على أشـــعة متناســـقة من الفوتونات التي تهتز بالتزامن نفســـه. لكن الـ BEC عبارة عن مجموعة من الذرات المتزامنة، وبالتالـــي من الممكن صنع أشـــعة من ذرات الـ BEC بحيـــث تكون كلها متناسقة. وبعبارة أخرى يمكن للـ BEC أن يخلق المقابل لليزر وهو الليزر الذري أو الليزر المادي المصنوع من ذرات BEC. إن التطبيقات التجارية لليـــزرات هائلة، ويمكـــن أن تكون التطبيقات التجاريـــة لليزرات الذرية

بالعمق والأهمية نفسها. ولكن بما أن الـ BEC توجد فقط عند درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق فسيكون التقدم في هذا المجال بطيئا وغير متواصل.

وباعتبار التقدم الذي تم إلى الآن، متى يمكن لنا نقل أنفسنا فورا؟ يأمل الفيزيائيون في إجراء النقل الفوري للجزيئات المعقدة في السنوات المقبلة. ويمكن بعد ذلك إجراء النقل الفوري لجزيء الدنا أو حتى لفيروس خلال عقود. وليس هناك، من حيث المبدأ، ما يمنع النقل الفوري لشخص حقيقي كما في أفلام الخيال العلمي لكن المشاكل التقنية التي تعترض هذا العمل هائلة حقا. ويتطلب الأمر بعض أفضل المختبرات الفيزيائية في العالم لإحداث تجانس بين فوتونات الضوء الصغيرة والذرات المنفردة. إن خلق تناسق كمومي بالنسبة إلى أجسام ماكروية ضخمة مثل الإنسان غير ممكن لزمن طويل في المستقبل. وفي الحقيقة، فمن المحتمل أن يستغرق النقل الفوري للأجسام العادية عدة قرون أو أكثر من ذلك، هذا إذا كان ذلك ممكنا على الإطلاق.

حاسبات الكوانتم

يرتبط مصير النقل الفوري الكمومي في النهاية بشكل وثيق بمصير تطور حاسبات الكوانتم. فكلاهما يستخدم الفيزياء وتقنية الكوانتم نفسها. ولذا فهناك تلاقح شديد متبادل بين هذين الحقلين. وقد تحلّ حاسبات الكوانتم يوما ما محل الحاسب الرقمي المعروف الذي يجلس على طاولتنا. وفي الحقيقة، فقد يعتمد مستقبل الاقتصاد العالمي يوما ما على مثل هذه الحاسبات، لذا فهناك اهتمام تجاري كبير في هذه التقانات. وقد يصبح وادي السيليكون يوما ما حزام الصدأ، ويستبدل بتقانات جديدة من حوسبة الكوانتم.

تعمل الحاسبات العادية على أرقام ثنائية من الأصفار والآحاد، تدعى الأحرف Bits. لكن حاسبات الكوانتم أقوى من ذلك بكثير. يمكنها أن تحسب على جزء الحرف كوبيت qubit، والذي يأخذ قيما بين الصفر والواحد. فكر في ذرة موضوعة في حقل مغناطيسي. إنها تدور كطبق

يشـــير محور دورانه إما إلى الأعلى أو إلى الأسفل. يخبرنا المنطق السليم أن دوران الذرة يمكن أن يكون للأعلى أو للأســـفل ولكن ليس للجهتين معا في الوقت نفســـه. ولكن في عالم الكوانتم الغريب توصف الذرة على أنها مجمـــوع حالتين، فهي مجموع ذرة تـــدور إلى الأعلى وذرة أخرى تدور نحو الأســـفل. وفي عالـــم الكوانتم الخفي، يوصف كل جســـم بمجموع حالاته الممكنة كلها. وإذا وصفت أجســـام كبيرة كالقطط بهذه الطريقة الكمومية، فـــإن هذا يعني أن عليـــك أن تضيف التابع الموجي لقطـــة حية إلى التابع الموجي لقطة ميتة، بحيث إن القطة ليســـت حية ولا ميتة. كما ســـأناقش بتفصيل واف في الفصل الثالث عشر).

تصور الآن سلســـلة من الذرات مرتبة ضمن حقل مغناطيســـي، بحيث يتوضّع الدوران بطريقة ما. لو صوّب شـــعاع ليزري على سلســـلة الذرات هذه فإنه ســـيرتد عنها بحيث يزيح محـــور دوران بعضها. وبقياس الفارق بين شـــعاع الليزر الداخل والخارج ننجز «حسابات» كمومية معقدة تتضمن إزاحة عدد من اللفات.

لاتـــزال حاســـبات الكوانتم في مرحلـــة الطفولة. والرقم القياســـي العالمي لعملية حســـابية كمومية هو 5x3 = 15، وهي عملية من الصعب أن تحل محل الحاسبات الفائقة الحالية. ويشترك النقل الفوري الكمومي والحاسب الكمومي بنقطة الضعف المميتة نفسها: الحفاظ على التناسق لمجموعة كبيرة من الذرات. لو أمكن حل هذه المشكلة فسيكون ذلك بمنزلة اختراق هائل في كلا الحقلين.

تهتم وكالة الاســـتخبارات الأمريكية ومؤسســـات ســـرية أخرى بشدة بحاســـبات الكوانتم. ويعتمد العديد من الشيفرات السرية في العالم على «مفتاح» مؤلف من رقم كبير جدا وقدرة المرء على تحليله إلى أرقام أولية. لو كان المفتاح حاصل جداء عددين يتألف كل منهما من مائة رقم، فإن هذا سيســـتهلك من الحاســـب الرقمي أكثر من مائة سنة لإيجاد هذه العناصر من لا شيء. إن مثل هذه الشيفرة ببساطة غير قابلة للحل اليوم.

لكن بيتر شور من مختبرات شركة بيل أظهر في العام 1994 أن تحليل الأعداد الضخمة يمكن أن يكون بمنزلة لعبة أطفال بالنســـبة إلى حاسوب الكوانتم. أثار هذا الاكتشاف فورا اهتمام مجتمع الذكاء. ومن حيث المبدأ،

يمكن لحاسب الكوانتم أن يفك شيفرات العالم كلها ملقيا أمن حواسب اليوم في فوضى كاملة. وستستطيع أول دولة قادرة على بناء مثل هذا النظام اكتشاف أعمق الأسرار لدول ومنظمات أخرى.

خمّن بعض العلماء أن مستقبل الاقتصاد العالمي قد يعتمد على حاسبات الكوانتم. فمن المتوقع أن تبلغ الحواسب الرقمية المؤسسة على السيليكون حدودها القصوى الفيزيائية وفق الاستطاعة الحاسوبية بعد العام 2020. ومن الضروري التوصل إلى عائلة جديدة من الحواسب أكثر قوة إذا أريد للتقانة أن تستمر في التقدم. ويختبر آخرون إمكانية إعادة إنتاج قدرة العقل البشري بواسطة حاسوب الكوانتم.

لذلك فإن المخاطر عالية جدا. لو استطعنا حل مشكلة التناسق فلن نتمكن من حل تحدي النقل الفوري فقط، بل يمكننا أن نطور التقانة بأشكال مختلفة بطرق غير معروفة من خلال حواسب الكوانتم. هذا الاختراق مهم جدا بحيث إنني سأعود إلى مناقشته في فصول لاحقة.

وكما ذكرت سابقا، من الصعب جدا الحفاظ على التناسق في المختبر. فبإمكان أصغر الاهتزازات تخريب تناسق ذرتين وإيقاف الحوسبة. ومن الصعب جدا اليوم الحفاظ على التناسق في أكثر من حفنة فقط من الذرات. وستبدأ الذرات التي كانت في السابق تهتز في الطور نفسه بالاهتزاز بتجانس مختلف في بضعة «نانو ثانية» أو في ثانية على الأكثر. إذن يجب إنجاز النقل الفوري بسرعة شديدة قبل أن تبدأ الذرات بالاهتزاز بأطوار متباينة، وبالتالي فإن هذا يضع قيدا آخر على الحوسبة والنقل الفوري الكموميين.

وعلى الرغم من هذه التحديات يعتقد ديفيد دويتش من جامعة أكسفورد أن في الإمكان التغلب على هذه المشاكل: «بالحظ وبمساعدة التطورات الحديثة في الفيزياء النظرية [9]، قد تتطلب (حاسوب الكوانتم) وقتا أقل من 50 سنة بكثير... وستكون هذه طريقة جديدة تماما في تطويع الطبيعة».

إذن لبناء حاسوب كمومي نحتاج من مئات إلى ملايين الذرات التي تهتز بالتزامن نفسه، وهو شيء فوق قدرتنا الحالية. ولذا فالنقل الفوري على شاكلة القبطان كيرك في ستار ترك سيكون صعبا جدا. علينا أن

نخلق ترابطا كموميا مع توأم للقبطان كيرك. وحتى مع التقانة النانونية والحواسب المتطورة فمن الصعب رؤية كيف يمكن تحقيق ذلك.

إذن هناك نقل فوري على المستوى الذري، وقد نستطيع في نهاية المطاف نقل جزيئات معقدة وحتى عضوية خلال عقود قليلة. لكن النقل الفوري لجسم ضخم لا بد أن ينتظر من عدة عقود إلى عدة قرون أو ربما أطول من ذلك، إن كان هذا ممكنا حقا. لذا يصنف النقل الفوري لجزيئات معقدة وحتى لفيروس أو خلية حية ضمن مستحيلات الصنف الأول، وهي التي يمكن أن تكون ممكنة خلال قرن. لكن النقل الفوري لإنسان، على الرغم من أنه مسموح في قوانين الفيزياء، فإنه قد يستغرق قرونا عدة بعد ذلك، بافتراض أن هذا ممكن على الإطلاق. لذا فإنني أصنف ذلك النوع من النقل الفوري على أنه استحالة من الصنف الثاني.



5

التخاطر من بعد

«إذا لم تر شيئا غريبا خلال اليوم فإنه ليس يوما جيدا».

جون ويلر

«فقط أولئك الذين يجربون السخف يحصلون على المستحيل».

إم. سي. إشر

«لو استطعنا يوما ما قراءة المخطط العريض لأفكار شخص ما، فهل نستطيع أن نقوم بالعملية المضادة وأن نسقط أفكارنا على عقل شخص آخر؟»

المؤلف

تلتقط رواية أي. إي. فان فوكت «سلان» (Slan) الإمكانية الكبيرة للتخاطر من بعد ومخاوفنا الأعمق المرتبطة بتأثيره. بطل الرواية جومي غروس هو من السلان، وهم جنس فانٍ من المتخاطرين من بعد ذوي ذكاء فائق. لقد قتل أبواه بوحشية من قبل عصابة من البشر الغاضبين الذين يخافون المتخاطرين من بعد (Telepathists) كلهم ويحتقرونهم، بسبب القوة الهائلة التي

يملكها هؤلاء مما يمكنهم من التدخل في أفكارهم الخاصة الأكثر حميمية. يطارد البشر السـلان بلا هوادة كأنهم حيوانات. وكان من السهل تمييزهم من اللولب المميز الذي كان يتدلى من رؤوسهم. ويحاول جومي خلال الكتاب الاتصال بالسـلان الآخرين الذين ربما فروا إلى الفضاء الخارجي للهروب من مطاردة البشر المصممين على القضاء عليهم.

كانت قراءة الأفـكار مهمة جدا تاريخيا بحيث ارتبطت بالآلهة. إن إحدى أهم الخصائص الأساسـية لأي إلـه هي قدرته على قـراءة أفكارنا ومن ثم الاستجابة لأعمق صلواتنا. ويمكن لمتخاطر حقيقي يستطيع قراءة الأفكار كما يريد أن يصبح بسهولة أغنى شخص على الأرض وأقواهم، قادرا على الدخول إلى عقول مصرفيي وول ستريت أو ابتزاز خصومه وتطويعهم. وفي إمكانه أن يشـكل تهديدا لأمن الحكومات. ويستطيع من دون جهد أن يسرق أكثر أسرار الأمة حساسية. ومثل السلان سيكون مبعث خوف وربما يقضى عليه.

أبرزت سلسـلة «المؤسسـة المميزة» (Foundation) لإسحق آسيموف، التي غالبا ما اعتبرت إحدى أعظم أسـاطير الخيال العلمي على الإطلاق، القـوة الهائلة لمتخاطـر حقيقي. تظهر السلسـلة إمبراطورية مجرية (*) حكمت لآلاف السـنين على وشـك الانهيـار والدمار. وتسـتخدم جمعية سـرية من العلماء تدعى المؤسسـة الثانية علاقات معقـدة للتنبؤ بانهيار الإمبراطورية في النهاية ودخول الحضارة في ثلاثين ألف سنة من الظلام. يضع العلمـاء خطة مفصلة مبنية على معادلاتهم في محاولة منهم لإبطاء انهيار الحضارة إلى بضعة آلاف من السـنين فقط. لكن الكارثة تقع. فقد فشـلت معادلاتهم المعقدة في التنبؤ بحادثة واحدة، وهي ولادة مشوه دعي بالبغل (Mule) يسـتطيع التحكم في العقول من مسافات بعيدة، وبالتالي التحكـم فـي إمبراطورية المجرة. وسـتهدد المجرة بثلاثين ألف سـنة من الفوضى والاضطراب ما لم يوقف هذا المتخاطر.

وعلـى الرغـم مـن أن الخيال العلمـي ممتلئ بقصـص خيالية حول المتخاطرين مـن بعد، فإن الحقيقة أكثر واقعيـة. وبما أن الأفكار خاصة وغير مرئية فقد اسـتغل المحتالون والدجالون لقرون عدة الناس السـذج

(*) نسبة إلى مجرة.

والبســطاء منا. تتمثل إحدى الخدع البسيطة المستخدمة من قبل السحرة وقارئي الأفكار في اســتخدام متعاون يندس بين الجمهور حيث يقوم قارئ الأفكار بقراءة عقله.

تأسســت مهن العديد من الســحرة وقارئي الأفكار في الحقيقة على «خدعة القبعة» الشــهيرة [1]، حيث يكتب الناس رســائل خاصة على قطع من الورق ومن ثم توضع هذه الأوراق في قبعة. يتابع الساحرخدعته بإخبار الجمهور لدهشتهم بما هو مكتوب على كل قطعة من الورق. وهناك تفسير بسيط جدا لهذه الخدعة (اقرأ الملاحظات).

لم تشــمل إحدى أهم حالات التخاطر إنسانا مدعيا ولكن حيوانا. فكليفر هانس حصان عجيب أدهش الجماهير الأوروبية في تسعينيات القرن التاســع عشر. لقد تمكن هذا الحصان، لدهشة الجماهير، من إجــراء حســابات رياضية معقدة. لو ســئل كليفر هانس على ســبيل المثال أن يقســم 48 على 6 فســيدق الحصان قدميــه ثماني مرات. وفي الحقيقة يســتطيع كليفر هانس القسمة والضرب وجمع الكسور والتهجئــة وحتى تمييز الأنغام الموســيقية. لقد صــرح جمهور كليفر هانس بأنه إما أنه أكثر ذكاء من العديد من البشــر، أو أنه يســتطيع التقاط أفكار البشر بالتخاطر.

لكــن كليفر هانس لم يكن نتاج خدعة ذكيــة. لقد خدعت قدرة كليفر هانس العجيبة على إجراء الرياضيات حتى مدربه. ففي العام 1904 دعي عالم النفس الشــهير البروفسور ســترمف ليحلل أداء الحصان، ولكنه لم يجد دليلا واضحا على الخداع في تحويل الإشــارة إلى الحصان مما زاد من إعجاب الجماهير بالحصان. لكن بعد ثلاث ســنوات قام عالم النفس أوســكار فانغست، تلميذ ســترمف، باختبارات أكثر صرامة، واكتشف في النهاية ســر الحصان كليفر هانس. كان كل ما فعله هو مراقبة تعابير وجه مدربــه المعقدة. كان الحصان يســتمر في دق قدميــه بالأرض حتى يتغير تعبير وجــه المدرب قليلا وعندها يتوقف عن الــدق. لم يكن إمكان كليفر هانس قراءة أفكار الناس أو إجراء الحســابات. لقد كان ببســاطة مراقبا ذكيا لوجوه البشر.

في التاريخ المدوّن ذكرت العديد من الحيوانات «التخاطرية». ومنذ العام 1591 أصبح حصان دعي موروكو مشهورا في إنجلترا، وجلب الثروة لمالكه عن طريق التقاط أناس من الجمهور، والإشـارة إلى أحرف من الأبجدية، وجمـع حاصل زوج من النرد. لقد أحدث شـعورا مثيرا في إنجلترا بحيث خلده شكسـبير في مسرحيته «عذاب الحب الضائع» (Love's Labour's Lost) على أنه «الحصان الراقص».

ويسـتطيع المقامرون أيضا قراءة أفكار النـاس [2] بمعنى محدود. فعندما يرى شـخص ما شيئا ممتعا يتسـع عادة بؤبؤا عينيه. وعندما يرى شـيئا غير سـار (أو عندما يحل مسـألة رياضية) ينكمش بؤبؤا عينيه. ويستطيع المقامرون قراءة انفعالات خصومهم على طاولة البوكر بالنظر في تمدد عيونهم أو انكماشـها. وهذا هو أحد أسـباب ارتداء المقامريـن أقنعة ملونة فوق عيونهم فـي كثير من الأحيان لإخفاء بؤبؤ عيونهم. ويسـتطيع المرء أيضا أن يعكس شـعاعا ليزريا من بؤبؤ عين شـخص ما ثم يحلل أين ينعكـس وبالتالي يحدد بالضبط اتجاه نظره. وبتحليل حركة البقعة المنعكسـة من شعاع الليزر يمكن للمرء أن يحدد كيف يمسـح شخص صورة ما. وبدمج هاتين التقانتين يمكن للمرء بعد ذلك أن يحدد ردة فعل الشـخص العاطفية من خلال مسـح الصورة، حيث يتم ذلك كله من دون موافقته.

البحث الفيزيائي

أجريت الدراسـات العلميـة الأولى على التخاطـر [3] والظواهر غير العاديـة الأخرى من قبل جمعية البحث النفسـي التي تأسسـت في لندن العـام 1882 (صيغ مصطلـح «التخاطر العقلي» في ذلـك العام من قبل عضو الجمعية أف. دبليو. مايرز). شـملت قائمة الرؤساء السابقين لهذه الجمعية بعض أشهر الشخصيات في القرن التاسع عشر. استطاعت هذه الجمعيـة التي لاتزال موجودة إلى اليوم فضح ادعاءات كثير من المحتالين، لكنها في كثير من الأحيان انقسمت بين الروحانيين الذين اعتقدوا بوجود قوة فوق الطبيعة، والعلماء الذين رغبوا في دراسة علمية أكثر جدية.

بدأ أحد الباحثين المرتبطين بالجمعية [4]، وهو الدكتور جوزيف بانكس، الدراســة الجدية والمنتظمة الأولى للظواهر النفسية في الولايات المتحدة في العام 1927 مؤسســا معهد الراين (يدعــى الآن مركز بحوث الراين) في جامعة ديوك في كارولينا الشــمالية. وخلال عقــود أجرى مع زوجته لويــزا بعض أولى التجارب المتحكم فيها علميــا في الولايات المتحدة على مجموعة واســعة من الظواهر النفسية، ونشــر هذه البحوث في مجلات محكّمة معروفة. كان راين أول من صاغ المصطلح «الإدراك فوق الحســي» (ESP) في أحد كتبه الأولى.

حدد مختبر راين في الحقيقة المســتوى القياسي للبحث النفسي. وطور أحد معاونيه، الدكتــور كارل زينر، نظام البطاقات ذات الرموز الخمسة، التي تعرف الآن باسم بطاقات زينر لتحليل قدرات التخاطر. لــم تظهر الأغلبيــة العظمى من النتائج أي دليــل على الإطلاق على التخاطــر. لكن يبدو أن عــددا صغيرا من التجــارب أظهر علاقات ضئيلــة، لكنهــا مهمة، فــي البيانــات لا يمكن تفســيرها عن طريق المصادفة المحضة. لكن المشــكلة هي أنه لا يمكــن غالبا تكرارها من قبل باحثين آخرين.

وعلى الرغم من محاولة راين بناء شهرة له بدقته، فإن سمعته تأثرت بعض الشــيء لعلاقته بفــرس دعي ليدي وندر. اســتطاع هذا الفرس إنجاز عجائب مدهشــة من التخاطر، مثل النقر على مكعبات الأحرف الأبجدية وبالتالي تهجئة كلمات يفكر فيها أفراد الجمهور. من الواضح أن راين لم يكن يعلم شيئا حول تأثير كليفر هانز. وفي العام 1927 حلل راين الليدي وندر ببعض التفصيل واســتنتج «أن ما يبقى إذن هو فقط التفســير الإيحائي [5]، وهو انتقال التأثير العقلي بعملية غير معروفة. ولم يكتشف أي شيء يتعارض مع هذا الاستنتاج، ولا توجد إمكانية لأي فرضية أخرى بحسب هذه النتائج». أظهر ميلبورن كريستوفر فيما بعد أن المصدر الحقيقي لمقدرة الليدي وندر الإيحائية هو: الحركات الذكية للسوط الذي يحمله مالك الحصان. كانت الحركات الذكية للسوط هي المؤشر لليدي وندر للتوقف عن خبط قدميها (لكن حتى بعد الكشف عن

المصدر الحقيقي لقوة الليدي وندر استمر راين بالاعتقاد أن الحصان مازال تخاطريا حقا، ولكنه لسبب ما فقد قدرته التخاطرية، مما اضطر مالكه إلى اللجوء إلى الخداع).

لكن سمعة راين تعرضت لضربة مميتة نهائية عندما كان على وشك التقاعد. كان يفتش عن خلف له بسمعة غير ملطخة ليتابع العمل في المعهد. وكان أحد المرشحين الواعدين الدكتور والتر ليفي، الذي استخدمه في العام 1973. أرسل الدكتور ليفي، النجم الصاعد في هذا الحقل، نتائج مذهلة توضح أن في إمكان فأر أن يبدل بالتخاطر مولّد الأرقام العشوائية للحاسوب، لكن العاملين المتشككين في المختبر اكتشفوا أن الدكتور ليفي كان يتسلل سرا إلى المخبر في الليل لتغيير نتائج الاختبارات. لقد اكتشف متلبسا وهو يزوّر النتائج. وأظهرت الاختبارات اللاحقة أن الفأر لا يمتلك أي قدرة تخاطرية[6] على الإطلاق، وأجبر الدكتور ليفي على الاستقالة من المعهد مكللا بالعار.

التخاطر وستار غيت

اتخذ الاهتمام بما فوق العادة تحولا خطيرا في ذروة الحرب الباردة، حيث أُجريت تجارب سرية على التخاطر والتحكم في العقل والرؤية من بعد. (الرؤية من بعد هي «رؤية» موقع بعيد بالعقل فقط عن طريق قراءة أفكار الآخرين). كان ستار غيت (Star Gate) هو الاسم السري لعدد من الدراسات السرية المدعومة من وكالة الاستخبارات الأمريكية (CIA) (مثل سن ستريك وغريل فليم وسنتر لين). بدأت المحاولات نحو العام 1970 عندما استنتجت الـ «سي. آي. إيه» أن الاتحاد السوفييتي كان ينفق حتى 60 مليون روبل في العام على البحث في مجال «التخاطر» (psychtronics). كان هناك قلق بأن السوفييت ربما كانوا يستخدمون الـ ESP لتحديد مكان الغواصات والمنشآت الحربية الأمريكية واكتشاف الجواسيس وقراءة الأوراق السرية.

بدأ تمويل دراسات الـ CIA في العام 1972، وكان رسل تارك وهارولد بوثهوف من معهد ستانفورد للبحث العلمي في مينلو بارك مسؤولين عن ذلك. لقد حاولا في البداية تدريب فريق من الروحانيين الذين يمكنهم

العمـــل في «حرب روحانيـــة». وخلال أكثر من عقدين مـــن الزمن أنفقت الولايات المتحدة 20 مليون دولار على ســـتار غيت ووظفت أكثر من أربعين شخصا وثلاثة وعشرين مراقبا من بعد وثلاثة روحانيين.

وحتـــى العـــام 1995، وبميزانية 500 ألف دولار فـــي العام، أجرت الـ CIA مئات المشاريع لجمع المعلومات شملت آلاف جلسات الرؤية من بعد. وبشكل محدد طلب من الذين يرون من بعد:

1 - تحديد موقع العقيد القذافي قبل قصف ليبيا في العام 1986.
2 - العثور على مخزونات البلوتونيوم في كوريا الشـــمالية في العام 1994.
3 - تحديد موقع أسير مختطف من الكتائب الحمر في إيطاليا في العام 1981.
4 - تحديد موقع قاذفة قنابل سوفييتية سقطت في أفريقيا.

وفـــي العـــام 1995 طلبت الـــ CIA من معهد البحـــوث الأمريكي (AIR) تقويم هذه البرامج. أوصى المعهد بإغلاق البرامج. وكتب ديفيد غوسلن من المعهد قائلا: «ليس هناك دليل مدون بوجود أي فائدة منها للمجتمع الاستخباراتي».

تباهى مؤيدو ســـتار غيت بأنهم أحـــرزوا خلال الســـنوات نتائج «ثمانية مارتيني» (اســـتنتاجات رائعة جدا بحيث يجب عليك أن تخرج وتتناول ثماني كؤوس من المارتيني لتســـتعيد روعك). لكن النقـــاد قالوا إن الأغلبية العظمى مـــن الرؤية من بعد المنتجة هـــي معلومات لا قيمة لهـــا، وأنها أضاعت نقود دافعي الضرائـــب وأن «الأهداف» القليلة التي ســـجلتها غامضة وعامة جدا بحيـــث يمكن تطبيقها على أي حالة. وذكر تقرير AIR أن «النجاحات» الأكثر أهمية لستار غيت شملت مراقبين من بعد لديهم معرفة مسبقة بالعملية التي يدرســـونها، وبالتالي ربما كانت لديهم تخمينات بارعة ومعقولة. استنتجت الـ CIA في النهاية أن ستار غيت لم تقدم أي معلومة تساعد الوكالة على توجيه عملياتها الاســـتخبارية، وبالتالي فقد ألغت المشروع. (بقيت إشاعات تقول إن الـ CIA استخدمت مراقبين من بعد لتحديد موقع صدام حسين خلال حرب الخليج، على الرغم من أن المحاولات كلها لم تنجح في ذلك).

مسوحات الدماغ

في الوقت نفسه، بدأ العلماء يفهمون بعضا من فيزياء عمل الدماغ. وفي القرن التاسع عشر شك العلماء بوجود نبضات كهربائية تنتقل داخل الدماغ. وفي العام 1875 اكتشف ريتشارد كيتون أن من الممكن كشف الإشارات الكهربائية الصغيرة التي يصدرها الدماغ بوضع أقطاب على سطح الرأس. وقد قاد هذا في النهاية إلى اختراع «الإلكتروانسفالوغراف» (electroencephalograph) EEG.

من حيث المبدأ، يعمل الدماغ كمرسل تبث منه أفكارنا على شكل إشارات كهربائية صغيرة وموجات كهرطيسية، لكن هناك مشاكل في استخدام هذه الإشارات لقراءة أفكار شخص ما. فالإشارات أولا صغيرة جدا وهي ضمن مجال الميلي وات. وثانيا، فالإشارات مشوشة ولا يمكن تمييزها عن ضوضاء عشوائية. ولا يمكن الحصول سوى على معلومات بدائية عن أفكارنا من هذا الضجيج. وثالثا، لا يمكن لعقلنا أن يتلقى رسالات مماثلة من عقول أخرى عبر هذه الإشارات. أي أننا في حاجة إلى جهاز استقبال. وأخيرا حتى لو تمكنا من التقاط هذه الإشارات الخافتة فلن نستطيع حلها. إن التخاطر بواسطة الراديو غير ممكن باستخدام فيزياء نيوتن وماكسويل العاديتين.

يعتقد البعض أن التخاطر ربما يتم عبر قوة خامسة دُعيت قوة «بسي» (psi). لكن حتى المدافعين عن علم نفس ما وراء الطبيعة يعترفون بأنهم لا يملكون أي دليل قوي يثبت وجود هذه القوة.

لكن هذا يترك السؤال مفتوحا: ماذا عن التخاطر باستخدام نظرية الكوانتم؟

قدمت في العقد الأخير أجهزة كمومية جديدة مكنتنا لأول مرة في التاريخ من النظر داخل العقل المفكر. قاد هذه الثورة الكوانتومية جهازا مسح الدماغ وPET (التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني) وجهاز MRI (الرنين المغناطيسي). يمسح جهاز PET الدماغ عن طريق حقن سكر مشع في الدم. يتركز هذا السكر في أجزاء الدماغ المنشطة بعملية التفكير والتي تتطلب طاقة. يصدر السكر المشع بوزيترونات (مضاد الإلكترونات)

يمكن اكتشافها بالأجهزة بسهولة. ولذا، بتقفي النموذج الذي يصنعه مضاد المـــادة في الدماغ الحي يمكن للمـــرء أن يتقفى أيضا نماذج التفكير وعزل أجزاء الدماغ التي تقوم بهذا النشاط.

تعمل أجهزة الرنين المغناطيســـي بالطريقة نفسها، بيد أنها أكثر دقة. يوضع رأس المريض داخل حقل مغناطيســـي كبير على شكل حلقة. ويعمل الحقل المغناطيسي على تنظيم نوى الذرات في الدماغ بشكل موازٍ لخطوط الحقل المغناطيســـي. يرسل الجهاز نبضة إشعاعية إلى المريض تجعل هذه النـــوى تهتز. وعندما تغير النوى تموضعها فإنها تصدر «صدى» إشـــعاعيا ضئيلا يمكن تحسســـه، وبالتالي فهو يشـــير إلى وجود جسيم مادي. على ســـبيل المثال، يرتبط نشاط الدماغ باستهلاك الأكسجين، لذا يمكن لجهاز الرنين المغناطيســـي أن يميزعملية التفكير وفق نسبة الأكسجين في الدم. وكلما ارتفع تركيز الدم المؤكســـد زاد النشـــاط العقلي في ذاك الجزء من الدماغ. (يمكن لأجهزة الرنين المغناطيســـي الوظيفية fMRI أن تركز على مناطق ضئيلة من الدماغ حتى بمقطع واحد ملليمتر في أجزاء من الثانية، مما يجعل هذه الأجهزة مثالية لتتبع نموذج أفكار العقل الحي).

الرنين المغناطيسي لكشف الكذب

يمكن للعلماء باســـتخدام أجهزة MRI اكتشـــاف الخطـــوط العريضة للأفكار في الدماغ الحي في المســـتقبل. وســـيكون أسهل اختبار لـ «قراءة العقل» هو تحديد ما إذا كان شخص ما يكذب أم لا.

كمـــا تقول الأســـاطير، فقد صنع أول جهاز لكشـــف الكذب في العالم مـــن قبل رجل دين هندي منذ عـــدة قرون. كان هذا الرجل يضع المتهم مع «حمار ســـحري» في غرفة مغلقة، مع تعليمات أن يشد المتهم ذنب الحمار الســـحري. إذا بـــدأ الحمار بالنهيق فمعنى ذلـــك أن المتهم كاذب وإذا بقي صامتا فإن المتهم يقول الحقيقة (لكن رجل الدين كان يضع ســـرا السخام على ذنب الحمار).

وبعـــد أن يؤخذ المتهم من الغرفة يدعي أنـــه بريء لأن الحمار لم ينهق عندما شـــد ذنبه. لكـــن رجل الدين يقوم بفحـــص يدي المتهم.

فــإذا كانت اليدان نظيفتين فإن هــذا يعني أنه كاذب. (يكون التهديد باســتخدام كاشــف للكذب في بعض الأحيان أكثــر فاعلية من جهاز كشف الكذب ذاته).

صنع أول «حمار سحري» في العصور الحديثة في العام 1913 عندما بين عالم النفس ويليام مارستون أن ضغط دم الشخص يرتفع عندما يكذب (تعود هــذه الملاحظة حول ضغط الدم إلى عهود قديمة عندما كان المتهم يســتجوب بينما يمســك المحقق يديه). وحالا انتشرت هذه الفكرة بحيث أسست وزارة الدفاع الأمريكية بسرعة معهد البوليغراف الخاص بها.

لكن أصبح من الواضح خلال الســنوات أن من الممكن خداع كواشــف الكذب من قبل منحرفين عدوانيين (sociopaths) لا يظهرون أي ندم على أفعالهم. كانت أشــهر حالــة على ذلك هي حالة العميــل المزدوج للـ CIA الدريــش إيمس، الذي حصل علــى كميات ضخمة من المــال من الاتحاد الســوفييتي الســابق بإرســال عدد من عملاء الولايات المتحدة إلى الموت وتقديم أسرار الأســطول النووي الأمريكي. اجتاز إيمس على مدى عقود مجموعة من اختبارات كشــف الكذب للـ CIA. وكذلك فعل قاتل الضحايا المتعددة غاري ريدجواي، المعروف بســفاح غرين ريفر الشهير، والذي قتل نحو خمسين امرأة.

وفي العام 2003 أصدرت أكاديميــة العلوم الوطنية الأمريكية تقريرا لاذعا حول وثوقية كواشــف الكذب، مســجلة الطرق كلهــا التي يمكن بها خداع كواشف الكذب واتهام أبرياء أنهم كاذبون.

لكن إذا كانت كواشــف الكذب تقيس مستويات القلق فقط، فماذا عن قياس الدماغ نفســه؟ تعود فكرة النظر في نشــاط الدماغ لفحص الكذب إلى عمل بيتر روزينفيلد من جامعة نورث وســترن منذ عشرين سنة، الذي لاحظ أن مســوحات EEG للناس في أثناء عملية الكذب أظهرت نموذجا مختلفا في موجات P300 منه عندما كان الناس يقولون الحقيقة (تحرض موجات P300 كثيرا عندما يصادف العقل شيئا جديدا أو خارج المعهود).

كانت فكرة استخدام مسوحات الرنين المغناطيسي (MRI) للكشف عن الكــذب من بنات أفكار دانييل لانغليبين من جامعة بنســلفانيا. ففي العام

1999 اطلع على نشــرة تقــول إن لدى الأطفال الذيــن يعانون اضطراب نقــص التركيز صعوبة في الكذب لكنــه كان يعرف بالخبرة أن هذا خطأ. فلم يكن لهؤلاء الأطفال مشــكلة في الكذب. كانت مشكلتهم الحقيقية هي صعوبــة منع الحقيقة. «إنهم يتفوهون بالأشــياء من دون تفكير» كما يقول لانغليبين. وكما يقول، فإن الدماغ عند الكذب عليه أولا أن يتوقف عن قول الحقيقة ومن ثم يخلــق الكذبة. ويقول «عندما تكذب عمدا فإنك تحتفظ عمــدا بالحقيقة في عقلك. ولــذا فمن المعقول الافتــراض أن هذا يعني نشاطا أكبر للدماغ»، وبعبارة أخرى فالكذب عمل شاق.

من خلال التجارب على طلاب جامعيين والطلب منهم أن يكذبوا، وجد لانغليبين بســرعة أن الكذب يزيد من نشــاط الدماغ في مناطق عدة بما فــي ذلك الفص الأمامي (حيث يتركز التفكيــر الأرقى)، والفص الصبغي والنظام الليمفاوي (حيث تعالج العواطف). وبشــكل خاص، لاحظ نشاطا غيــر عادي[7] في لفــات الحزام الأمامي (الذي يرتبــط بحل التناقضات وإيقاف ردود الفعل).

ادعى لانغليبين أنه حصل على نســبة نجاح حتى 99 في المائة عندما حلــل الطلاب في تجارب متحكم فيها ليحدد فيمــا إذا كانوا يكذبون أم لا (على ســبيل المثال طلب إلى الطلاب الجامعيين أن يكذبوا حول هوية ورق اللعب).

كان الاهتمام بهذه التقانة كبيرا جدا بحيث بدئ بمغامرتين تجاريتين لعرض هــذه الخدمة على الجمهور. وفي العام 2007 أخذت «شــركة الرنين المغناطيســي مــن دون كــذب» (NO Lie MRI) حالتها الأولى، وهو شــخص ادّعى على شركة الضمان لأنها زعمت أنه أشعل النار في مطعمه عن عمد (أشــار مسح الرنين المغناطيســي (MRI) إلى أنه لم يتعمد إشعال النار).

يدعي مؤيــدو تقانة لانغليبــين أنها أكثر موثوقية من كاشــف الكذب القــديم لأن تغيير نماذج الدماغ هو فوق قدرة أي شــخص. فبينما يمكن تدريــب الناس علــى التحكم إلى حد ما في ســرعة نبضهم وفي تعرقهم، يبقى من المستحيل بالنسبة إليهم التحكم في نماذج عقولهم. وفي الحقيقة،

يشير المؤيدون في هذا العصر الذي يزداد فيه الاهتمام بالإرهاب إلى أن هذه التقانة يمكنها إنقاذ عدد لا يحصى من الأرواح باكتشاف هجوم إرهابي على الولايات المتحدة.

وبينما يقر المنتقدون بالنجاح الواضح لهذه التقانة في كشف الكذب، فإنهم يشيرون إلى أن الـ fMRI (أجهزة الرنين المغناطيسي الوظيفية) لا تكتشف فعلا الأكاذيب، لكنها تكتشف فقط ازدياد نشاط الدماغ عندما يقوم شخص ما بالكذب. ويمكن للآلة أن تعطي نتيجة خاطئة إذا قال شخص الحقيقة بينما كان في حالة قلق كبير. إذ إن جهاز الـ fMRI سيكتشف القلق الذي يشعر به الشخص فقط وسيظهر خطأ أنه كاذب. ويحذر عالم الأعصاب الحيوية ستيفن هايمن من جامعة هارفارد: «هناك جوع لا يصدق للحصول على اختبارات لفصل الحقيقة عن الخداع».

يدعي بعض العلماء أيضا [(8)] أن كاشفا حقيقيا للكذب شأنه شأن المتخاطر الحقيقي يمكنه أن يجعل التفاعلات الاجتماعية العادية مزعجة لأن مقدارا معينا من الكذب هو بمنزلة «زيت اجتماعي» يساعد في الحفاظ على دوران عجلات المجتمع. وعلى سبيل المثال، يمكن لسمعتنا أن تنهار لو تبين أن المديح الذي نسبغه على رؤسائنا والأقدم منا وأزواجنا وأحبابنا وزملائنا كذب. ويمكن لكاشف كذب حقيقي أيضا أن يظهر أسرار عائلاتنا وعواطفنا المخبأة ورغباتنا المكبوتة وخططنا السرية كلها. وكما قال كاتب المقالات العلمية ديفيد جونز، فإن كاشف الكذب الحقيقي «مثل قنبلة ذرية، من الأفضل أن يبقى كنوع من الأسلحة. لكن لو شاع استخدامه خارج قاعة المحكمة فسيجعل الحياة الاجتماعية مستحيلة تماما».

المترجم الشامل

انتقد البعض بحق مسوحات الدماغ لأنها، على الرغم من الصور الرائعة التي تظهرها للدماغ المفكر، فإنها ببساطة فجة لقياس أفكار منفردة ومعزولة. فعندما نؤدي أبسط المهام العقلية تطلق ملايين العصبونات

في الوقت نفسه ويكتشف جهاز الـ fMRI هذا النشاط على شكل نبضة فقط على الشاشة. لقد قارن أحد علماء النفس مسوحات الدماغ بحضور لعبة كرة قدم صاخبة مع محاولة الاستماع للشخص الجالس بجوارك. إن صوت جارك سيختفي تحت ضجة آلاف الجماهير. وعلى سبيل المثال، فإن أصغر قطعة من الدماغ يمكن تحليلها بثقة بواسطة جهاز الـ fMRI تدعى «فوكسل» (voxel). لكن كل فوكسل يتعلق بعدة ملايين من العصبونات، ولذا فحساسية جهاز الـ fMRI ليست كافية بما يكفي لعزل أفكار فردية.

يستخدم الخيال العلمي أحيانا «مترجما شاملا» (Universal Translator) وهو جهاز يمكنه قراءة أفكار شخص ما، ثم إرسالها مباشرة إلى عقل شخص آخر. وفي بعض روايات الخيال العلمي يزرع متخاطرون غرباء الأفكار في عقولنا حتى ولو كانوا لا يفهمون لغتنا. وفي فيلم الخيال العلمي في العام 1976 «عالم المستقبل» يسقط حلم امرأة على شاشة تلفاز في الزمن الفعلي. وفي فيلم جيم كاري في العام 2004 «أشعة الشمس الخالدة للعقل النقي» يحدد الأطباء ذكريات مؤلمة ثم يمحونها.

يقول عالم الأعصاب جون هينز من معهد ماكس بلانك في لايبزغ في ألمانيا: «هذا هو نوع الخيال الذي يملكه كل شخص في هذا الحقل، ولكن إذا كان هذا هو الجهاز الذي تريد تصنيعه [9]، فإنني متأكد جدا من أنك في حاجة إلى أن تسجل من عصبون واحد».

وبما أنه لا يمكننا الكشف عن إشارات من عصبون واحد، فقد حاول بعض علماء النفس فعل البديل الأفضل التالي وهو: تخفيض الضجيج وعزل نموذج fMRI المخلوق من أجسام منفردة. على سبيل المثال، من الممكن تمييز نموذج الـ fMRI المصنوع من كلمات منفردة ثم بناء «قاموس الأفكار».

وعلى سبيل المثال، استطاع مارسل جست من جامعة كارينغي ميلون تمييز نموذج الـ fMRI المصنوع من مجموعة صغيرة مختارة من الأجسام (أدوات نجارة مثلا). ويدّعي: «لدينا 12 صنفا ويمكننا تحديد أي من الـ 12 يفكر فيها بدقة من 80 إلى 90 في المائة».

ويستخدم زميله عالم الحاسوب توم ميتشل تقانة الحاسوب مثل الشبكات العصبونية لتحديد نماذج الدماغ المعقدة المكتشفة بواسطة مسوحات الـ fMRI المرتبطة مع إجراء تجارب معينة. ويسجل: «هناك تجربة واحدة أحب أن أقوم بها وهي إيجاد كلمات تنتج النشاط الأبرز للدماغ».

حتى لو استطعنا خلق قاموس من الأفكار فإن هذا بعيد جدا عن خلق «مترجم شامل». وعلى النقيض من المترجم الشامل الذي يرسل الأفكار إلى عقولنا مباشرة من عقل آخر فإن المترجم العقلي [10] سيشمل خطوات عدة معقدة: أولا، التعرف على بعض نماذج الـ fMRI وتحويلها إلى كلمات إنجليزية ثم التفوه بتلك الكلمات إلى الشخص. وبهذا المعنى، فمثل هذا الجهاز لا علاقة له بـ «صهر العقل» الموجود في مسلسل ستار ترك [*] (ولكنه سيظل مفيدا جدا لضحايا السكتة الدماغية).

ماسحات MRI المحمولة

العقبة الأخرى المعيقة للتخاطر عمليا هي حجم آلة الـ fMRI. فهي آلة ضخمة تكلف عدة ملايين الدولارات تملأ غرفة كاملة وتزن عدة أطنان. يتألف لب آلة الـ MRI من مغناطيس ضخم على شكل كعكة مفرغة (دونت) بقطر يبلغ عدة أقدام، مما يخلق حقلا مغناطيسيا هائلا من عدة تيسلات (teslas) (هذا الحقل المغناطيسي ضخم جدا بحيث أصيب عدد من العاملين بشكل خطير عندما طارت مطارق وأدوات أخرى في الهواء بعدما شغل التيار الكهربائي بالمصادفة).

وأخيرا اقترح الفيزيائيان إيغور سافوكوف ومايكل روماليس من جامعة برنستون تقانة جديدة قد تجعل آلات MRI المحمولة باليد ممكنة، وبالتالي تخفض تكلفة آلة الـ fMRI بمائة مثل. وقد ادعيا أن مغانط الـ MRI الضخمة يمكن استبدالها بمقاييس مغناطيسية ذرية فائقة الحساسية يمكنها كشف حقول مغناطيسية ضئيلة جدا.

صنع سافوكوف وروماليس أولا كاشفا مغناطيسيا من بخار البوتاسيوم الحار المعلق في غاز الهيليوم. ثم استخدما شعاع الليزر لتنظيم دوران الإلكترون للبوتاسيوم. ثم طبقا حقلا مغناطيسيا ضعيفا على عينة من

(*) «صهر العقل» (Mind Meld): تقنية تستخدمها شخصيات المسلسل لدمج عقل مع عقل آخر، وذلك بالضغط بأطراف الأصابع على منطقة الصدغين [المحررة].

الماء (ليمثلا جسم إنسان). ثم أرسلا نبضة راديوية داخل عينة الماء جعلت جزيئات الماء تضطرب. جعل «الصدى» الناتج عن جزيئات الماء المضطربة إلكترونات البوتاسيوم تضطرب أيضا، ويمكن اكتشاف هذا الاضطراب بشعاع ليزري ثان. لقد حصلا على نتيجة مهمة: حتى الحقل المغناطيسي الضعيف يمكنه أن ينتج «صدى» يمكن التقاطه من قبل حساساتهم. وبهذا فإنهما لم يستطيعا استبدال الحقل المغناطيسي الضخم لآلة MRI العادية بحقل مغناطيسي ضعيف فقط، لكنهما استطاعا أيضا التقاط صور فورا (بينما تستغرق آلات الـ MRI عشرين دقيقة لإنتاج كل صورة).

وفي النهاية، فقد نظروا إلى أن التقاط صورة MRI هو - ببساطة - التقاط صورة من كاميرا رقمية (مع ذلك هناك عقبات. إحدى المشاكل هي أنه يجب حماية الجسم والآلة من الحقول المغناطيسية الشاردة من الخارج).

لو أصبحت آلات MRI المحمولة حقيقة فيمكن ربطها بحاسوب صغير يمكن شحنه ببرمجيات قادرة على فك رموز بعض العبارات والكلمات والجمل الرئيسة. مثل هذه الآلة لن تكون أبدا بتطور [11] أجهزة التخاطر المذكورة في الخيال العلمي، لكنها ستكون قريبة منها.

العقل كشبكة عصبونية

لكن هل يمكن لآلة MRI في المستقبل أن تقرأ أفكارا محددة، كلمة كلمة وصورة صورة، كما يفعل متخاطر حقيقي؟ ليس هذا واضحا تماما. لقد حاجج البعض بأن في إمكان آلات الـ MRI فك المخطط العام لأفكارنا فقط لأن العقل ليس في الحقيقة حاسوبا على الإطلاق. ففي الحاسوب الرقمي تكون الحوسبة محددة بمواقع معينة وتتبع مجموعة ثابتة من القوانين. يتبع الحاسوب الرقمي قوانين «آلة تورنغ» (*)، وهي آلة تحتوي على وحدة تحكم مركزية (CPU) وأجهزة إدخال وإخراج. يجري المعالج المركزي (شريحة البنتيوم مثلا) عددا محددا من العمليات على الداخل وينتج الخارج وبالتالي فـ «التفكير» متموضع في الـ CPU.

(*) سميت بذلك نسبة إلى عالم الرياضيات الإنجليزي آلان تورنغ (1912 - 1954)، وهي نموذج نظري يحاكي طريقة عمل الحاسوب [المحررة].

لكـــن عقلنا ليس حاســـوبا رقميا. فلا يملك عقلنا شـــريحة بنتيوم ولا CPU ولا نظام نوافذ (windows) للتشـــغيل، ولا برامج فرعية. ولو أزحت «ترانزســـتور» واحدا فقط من CPU حاسوب فمن المحتمل أن توقفه. وفي المقابـــل هناك حالات مســـجلة فقد فيها نصف العقل واســـتطاع النصف الباقي مع ذلك السيطرة والقيام بالعمل.

يشبه العقل البشري في الحقيقة آلة تعلم، «شبكة عصبونية» تقوم دوما بإعادة توصيل نفســـها إثر تعلم مهمة جديدة. لقد أكدت دراسات الـ MRI أن الأفكار في الدماغ ليست متموضعة في موقع محدد كما في آلة تورنغ، لكنها تتوزع على معظم الدماغ وهذه خاصة نموذجية من خواص الشـــبكة العصبونية. تظهر مســـوحات الـ MRI أن التفكير يشـــبه لعبة البينغ بونغ (كرة الطاولة)، حيث تلمع أجزاء مختلفة من الدماغ بالتسلســـل نتيجة قفز النشاط الكهربائي في أنحاء مختلفة من الدماغ.

ولأن الأفـــكار تتـــوزع على أجزاء عديـــدة من الدمـــاغ، فربما كان من الأفضل للعلماء جمع قاموس من الأفكار، أي تشـــكيل علاقة واحد لواحد بين أفكار معينة ونماذج معينة من مســـوحات الـ EEG أو الـ MRI. وعلى سبيل المثال، فقد درب مهندس الطب الحيوي النمساوي غيرت فورتشيللر حاســـوبا على التعرف على نماذج عقلية وأفكار محددة بتركيز جهوده على الموجات الميكروية الموجودة في الـ EEG. ومن الواضح أن الموجات الميكروية تتعلـــق بالنيـــة في إجراء حركات عضلية معينة. لقـــد طلب من مرضاه أن يرفعوا إصبعا أو أن يبتسموا أو يعبسوا ثم يقوم الحاسوب بتسجيل الأمواج الميكروية التي تنشـــط. وفي كل مرة يقوم بها المريض بنشاط عقلي يسجل الحاسوب بدقة نموذج الموجة الميكروية. هذه العملية صعبة وطويلة ومعقدة لأن عليك أن تعالج بدقة موجات مزيفة [12]، لكن فورتشـــيللر استطاع في النهاية إيجاد علاقة مثيرة بين حركات بسيطة ونماذج عقلية معينة.

ومـــع الزمن يمكن لهـــذا العمل مع نتائج الـــ MRI أن يقودا إلى وضع «قاموس» شـــامل للأفكار. وبتحليل نماذج معينة على مســـوحات الـ EEG أو الـ MRI فقد يتمكن الحاســـوب يوما ما من التعرف على هذه النماذج، وإظهـــار ما يفكر فيه المريض بشـــكل عام على الأقل. وستؤســـس «قراءة

العقل» هذه علاقة واحد - لواحد بين موجات ميكروية معينة ومسوحات MRI وأفكار محددة، لكن من المشكوك فيه أن يستطيع هذا القاموس التقاط كلمات معينة من أفكارك.

إسقاط أفكارك

لو استطعنا يوما ما قراءة المخطط العريض لأفكار شخص ما، فهل نستطيع أن نقوم بالعملية المضادة، وأن نسقط أفكارنا على عقل شخص آخر؟ يبدو أن الإجابة عن هذا التساؤل هي نعم بتحفظ. يمكن إسقاط أشعة راديوية مباشرة على الدماغ البشري لتحريض مناطق من الدماغ تعرف بأنها تتحكم في بعض الوظائف.

بدأ هذا النوع من البحوث في خمسينيات القرن الماضي، عندما كان جراح الأعصاب الكندي ويلدر بينفيلد يقوم بجراحة على أدمغة مرضى الصرع. وجد أنه عندما يحرض مناطق معينة من الفص الصدغي للدماغ بأقطاب، يبدأ الناس بسماع أصوات ويرون حواجز كالأشباح. لقد عرف علماء النفس أن جروح الصرع للدماغ قد تشعر المريض أن هناك قوى فوق عادية تعمل، وأن الشياطين والملائكة تتحكم في الحوادث حوله (حتى أن بعض علماء النفس ذهبوا إلى أن تحريض هذه المناطق ربما يقود إلى التجارب الروحانية التي هي أساس العديد من الديانات. وقد خمن البعض أن جان دارك، التي قادت القوات الفرنسية إلى النصر في المعارك ضد البريطانيين وحدها، ربما خبرت مثل هذا التأثير الناجم عن ضربة على رأسها).

وبناء على هذه الآراء، صنع عالم الأعصاب مايكل بيرسنغر من سادبري في أونتاريو خوذة مشبكة بشكل خاص مصممة لإرسال موجات إشعاعية إلى الدماغ، بحيث تعطي أفكارا وعواطف معينة كالمشاعر الدينية. ويعرف علماء الأعصاب أن عطبا معينا للفص الصدغي الأيسر يمكنه أن يجعل عقلك الأيسر مشتتا، وقد يفسر العقل نشاطا في النصف الأيمن على أنه حادث من «شخص» آخر. وقد يولد هذا العطب الانطباع أن هناك روحا أو شبحا في الغرفة، لأن العقل لا يعي أن هذا الوجود

هو في الحقيقة جزء آخر منه. ووفق اعتقاد الشـــخص، فإن المريض قد يفســـر هذه «الذات الأخرى» على أنها شـــيطان أو ملاك أو شخص من خارج الكوكب أو حتى إله.

وفي المســتقبل قد يكون من الممكن إرســـال إشارات كهرطيسية إلى أجـــزاء محددة مـــن الدماغ تعرف على أنها تتحكـــم في وظائف معينة. وبإطلاق مثل هذه الإشـــارات إلـــى اللوزة الدماغية قد يســـتطيع المرء توضيح عواطف معينة. وبتحريض مناطق أخرى من الدماغ قد يستطيع المرء استحضار صور مرئية وأفكار. لكن البحث العلمي في هذا المنحى مازال في بداياته.

رسم خريطة الدماغ

دافع بعض العلماء عن مشـــروع «وضع خريطة عصبية» يشبه مشروع الجين البشـــري الذي مســـح الجينات كلها في الجينوم البشري. وسيحدد مشـــروع المسح العصبي كل عصب في دماغ الإنسان ويخلق خريطة ثلاثية الأبعاد تظهر ارتباطاته كلها. وســـيكون هذا مشروعا هائلا حقا لأن هناك أكثـــر من 100 مليار عصب في الدماغ يرتبـــط كل منها بآلاف الأعصاب الأخرى. وبافتراض تحقيق مثل هذا المشـــروع، يمكن للمرء أن يمسح كيف تحـــرض بعض الأفكار بعـــض الممرات العصبونية. وبدمج هذا المســـح مع قاموس الأفكار الذي يمكن الحصول عليه من مســـوحات الـ MRI وأمواج الـ EEG يمكن للمرء أن يحل البنية العصبية لبعض الأفكار بطريقة تمكنه من تحديد الكلمات والصور العقلية التي تتعلق بأعصاب معينة منشـــطة. وبالتالـــي يمكـــن للمرء أن يحصل على علاقة ارتبـــاط واحد - لواحد بين تفكير معين وتعبيره من الـ MRI والأعصاب المحددة التي تطلق لخلق هذا التفكير في الدماغ.

كانـــت الخطوة الصغيرة الأولى في هـــذا الاتجاه هي تصريح معهد آلـــن لعلم الدماغ العام 2006 (الذي أنشـــئ من قبل شـــريك مؤســـس مايكروســـوفت باول آلن) بأنهم استطاعوا تشكيل خريطة ثلاثية الأبعاد مـــن تعبير الجينات ضمن دماغ الفـــأر تعطي بالتفصيل تعابير 21 ألف

جـين على مسـتوى الخلية. وأملـوا أن يتبعوه بأطلس مشـابه للدماغ البشـري. ويقول مارك تيسـير - لافين رئيس المعهد إن «إتمام أطلس آلن للدمـاغ يمثل قفزة كبيرة إلى الأمام فـي إحدى الجبهات العظيمة لعلم طب - الدماغ»، ولن يكون من الممكن الاسـتغناء عن هذا الأطلس بالنسـبة إلى أي شـخص يرغب في تحليل الاتصالات العصبونية في دماغ الإنسـان، على الرغم من أن أطلس آلـن للدماغ أصغر بكثير من مشروع رسم خريطة أعصاب حقيقية.

خلاصـة القـول، فالتخاطر الطبيعي من النوع الـذي يظهر غالبا في قصص الخيال العلمي مسـتحيل حاليا. ويمكن اسـتخدام مسـوحات الـ MRI وموجات الـ EEG لقراءة أبسـط أفكارنا فقط لأن الأفكار تنتشـر علـى الدماغ بأكمله بطرق معقدة. ولكن كيف يمكن لهذه التقانة أن تتقدم خـلال العقود أو القرون القادمة؟ من المحتـم أن قدرة العلم على تفحص عملية التفكير ستتوسع أُسيا. ومع ازدياد حساسية جهاز الـ MRI وأجهزة الكشـف الأخرى سيتمكن العلم من تحديد الطريقة التي يعالج بها الدماغ الأفكار والعواطف بشـكل متسلسـل بدقة أكبر. ويستطيع المرء باستخدام قدرة حاسوبية أكبر تحليل هذه الكمية من البيانات بدقة أكبر. وقد يتمكن قاموس الأفكار من تصنيف عدد كبير من نماذج التفكير حيث تربط نماذج مختلفة من التفكير على شاشـة الـ MRI بأفكار ومشـاعر مختلفة. وعلى الرغـم من أن علاقة واحد - واحد كاملة بين نماذج الـ MRI والأفكار قد لا تكون ممكنة على الإطلاق، فإنه يمكن لقاموس الأفكار أن يتعرف بشكل صحيـح على أفـكار عامة حول بعض المواضيع. ويمكـن لنماذج تفكير الـ MRI بدورها أن تمسـح إلى خريطـة عصبونية تظهر بالضبط الأعصاب التي تنشط لتنتج تفكيرا محددا في الدماغ.

لكن بما أن الدماغ ليس حاسـوبا، بل شبكة عصبونية تتوزع الأفكار فيها على الدماغ بأكمله، فسـنصادف عقبة فـي نهاية المطاف: العقل نفسـه. لذا على الرغم من أن العلم سـيفحص بتعمـق أكثر في العقل المفكـر، مما يجعل من الممكن اكتشـاف بعض عمليات تفكيرنا، بيد أنه ليس من الممكـن «قراءة أفكارك» بالدقة البالغـة التي يعد بها الخيال

العلمي. وباعتبار هذه الحقيقة سأصنف القدرة على قراءة المشاعر العامة ونماذج التفكير على أنها استحالة من الصنف الأول. ويجب أن تصنف القدرة على قراءة أفعال الدماغ الداخلية بدقة أكبر على أنها استحالة من الصنف الثاني.

لكن ربما كانت هناك طريقة أكثر مباشرة يمكن بها الدخول إلى الطاقة الهائلة للدماغ. وبدلا من استخدام موجات الراديو الضعيفة، والتي يمكن تفريقها بسهولة، هل يستطيع المرء الوصول مباشرة إلى أعصاب الدماغ؟ لو حصل هذا الأمر فقد نستطيع إطلاق قدرة أكبر: السايكوكاينيسيس (Psychokinesis) أو التحريك بتأثير الدماغ.



6

الحركة بتأثير الدماغ

«لا تنتصر الحقيقة العلمية الجديدة بإقناع خصومها وجعلهم يرون النور، ولكنها بالأحرى تنتصر عندما يموت خصومها في النهاية، وينمو جيل جديد معتاد عليها».

ماكس بلانك

«من مزايا الغبي أنه يتفوه بحقائق لا يتفوه بها أي شخص آخر».

وليام شكسبير

«لم يعد التحكم في الحاسوب بواسطة عقل شخص ما مستحيلا. لكن هل يعني هذا أننا قد نستطيع في يوم ما تحريك الأجسام وأن نرفعها ونتحكم بها في الهواء بمجرد التفكير فقط؟»

المؤلف

اجتمع الآلهة يوما في السماء وشكوا حالة البشر المزرية. كانوا مشمئزين من حماقاتنا السخيفة والعقيمة والعبثية. لكن أحد الآلهة أشفق علينا وقرر إجراء تجربة: أن يمنح شخصا عاديا قدرة غير محدودة. لقد تساءلوا: كيف سيتفاعل الإنسان حين يصبح إلها؟

كان ذلك الشخص الممل والعادي هو جورج فوذرنغي، وهو بائع خردة وجد نفسه فجأة يمتلك قدرات إلهية تمكنه من جعل الشموع تطفو، وأن يغير لون الماء، وأن يجهز وجبات فاخرة من الطعام، حتى إنه يستطيع تحضير الألماس. في البداية استخدم قدراته للتسلية ولفعل الخير. ولكن غروره وشهوته للسلطة تغلبا عليه في النهاية وأصبح طاغية متعطشا للسلطة، يمتلك قصورا وثروات لا تصدق. ولأنه مخمور بهذه القدرة التي لا حدود لها، فإنه يرتكب خطأ قاتلا. إنه بكل عجرفة يأمر الأرض أن تتوقف عن الدوران، وفجأة تثور فوضى لا توصف عندما ترمي رياح عنيفة كل شيء إلى الهواء بسرعة 1000 ميل في الساعة وهو معدل دوران الأرض. وترمى البشرية كلها إلى الفضاء الخارجي. وفي حالة اليأس التي تعتريه يطلب رغبة أخيرة: أن يعود كل شيء إلى ما كان عليه.

هذه هي الخطوط العريضة لفيلم «الرجل الذي يستطيع فعل المعجزات» (1936) المؤسس على قصة قصيرة لإتش. جي. ويلز عام 1911. (أعيد تنسيقها بعد ذلك لتظهر في الفيلم بروس الجبار الذي مثله جيم كاري). من بين القدرات كلها التي منحت لـ ESP كانت السايكوكاينيسيسية - أو العقل فوق المادة، أو القدرة على تحريك الأشياء بالتفكير - هي الأقوى بكثير، لأنها بصورة أساسية قدرة إلهية. كانت الحكمة من وراء القصة القصيرة لويلز هي أن القدرات الإلهية تحتاج أيضا إلى حكمة إلهية.

تظهر السايكوكاينيسيسية بكثرة في الأدب، وخاصة في مسرحية شكسبير «العاصفة»، حيث يلقى بالمشعوذ بروسبيرو وابنته ميراندا والجني الساحر آريل لعدة سنوات على شاطئ جزيرة مهجورة بفعل خيانة أخي بروسبيرو الشرير. وعندما يعلم بروسبيرو أن أخاه الشرير يبحر على قارب بجواره فإنه يستحضر قدرته السايكوكاينيسيسية ويستدعي عاصفة رهيبة تسبب تحطم سفينة أخيه على ساحل الجزيرة. ثم يستخدم بروسبيرو قدراته السايكوكاينيسيسية للعب بمصير الناجين الأبرياء، بمن فيهم فرديناند، وهو شاب وسيم وبريء يدبر بروسبيرو وقوعه في حب ابنته ميراندا.

لاحظ الكاتب الروسي فلاديمير نابوكوف أن «العاصفة» تحمل شبها كبيرا بقصص الخيال العلمي. وفي الحقيقة، فقد أعيد تأليفها عام 1956 بعد 350 عاما من كتابتها على شكل قصة خيال علمي سميت «الكوكب المحظور»، حيث أصبح بروسبيرو العالم المفكر موربيوس، وأصبح الجني هو روبي الروبوت، وأصبحت ميراندا ابنة موربيوس الجميلة آلتيرا، وأصبحت الجزيرة هي الكوكب التير - 4. وقد اعترف جين رودينبري، صانع مسلسل ستار ترك، أن «الكوكب المحظور» كان أحد مصادر إلهامه لإنتاج المسلسل.

ومنذ عهد أقرب شكل السايكوكاينيسيس العقدة الرئيسة للرواية «كاري» Carrie عام 1974 للمؤلف ستيفن كينغ، والتي حولت كاتبا فقيرا غير معروف إلى الكاتب الأول للروايات المرعبة في العالم. في الرواية فإن كاري فتاة في المدرسة الثانوية خجولة ومثيرة للشفقة ومعزولة اجتماعيا من رفيقاتها ومضطهدة من أمها المختلة عقليا. كان عزاؤها الوحيد هو قدرتها السايكوكاينيسيسية التي يبدو أنها ورثتها من عائلتها. وفي المشهد الأخير يخدعها معذبوها بالتفكير في أنها ستكون ملكة الحفلة، ثم يسكبون دم خنزير على ثوبها الجديد. وفي عمل انتقامي أخير تقوم كاري بإغلاق الأبواب جميعا بواسطة عقلها وتكهرب معذبيها وتحرق المدرسة وتطلق حريقا قاتلا يقضي على معظم البلدة، مهلكة نفسها أثناء العملية.

شكلت فكرة السايكوكاينيسيس في يدي شخص غير مستقر أيضا أساس حلقة ستار ترك الشهيرة «تشارلي x»، والتي تدور حول شاب من مستعمرة بعيدة في الفضاء غير مستقر جنائيا. وبدلا من أن يستخدم قدرته السايكوكاينيسيسية لفعل الخير فإنه يستخدمها للتحكم في الأشخاص الآخرين وإكراههم على تنفيذ رغباته الشريرة. ولو استطاع الاستيلاء على سفينة الانتربرايز والوصول إلى الأرض لأمكنه إطلاق فوضى كوكبية ولدمر كوكب الأرض بكامله.

كانت السايكوكاينيسيس أيضا مصدر قوة جمعية المحاربين الأسطورية فرسان الجيداي في ملحمة «حرب النجوم».

السايكوكاينيسيس والعالم الواقعي

ربما كانت المواجهة الأشهر حول السايكوكاينيسيس في الحياة العملية هي تلك التي جرت أثناء عرض برنامج جوني كارسون عام 1973. شملت المواجهة الشهيرة الروحاني الإسرائيلي يوري غيلر - الذي ادعى أنه يستطيع حني الملاعق بقوة عقله - وراندي المدهش - وهو ساحر محترف صنع مهنة ثانية له بفضح المدّعين امتلاك قدرات روحانية. من الغريب أن الثلاثة يشتركون في ميراث واحد: لقد بدأوا جميعهم حياتهم المهنية كسحرة أتقنوا حيل اليد التي كانت تدهش الجمهور غير المصدق.

وقبل ظهور غيلر، استشار كارسون راندي [1] الذي اقترح عليه أن يقدم جوني ملاعقه الخاصة، وأن يتفحصها قبل العرض. وعلى الهواء أدهش كارسون غيلر بالطلب منه أن يحني ملاعق كارسون بدلا من ملاعقه. ولشدة حرجه فقد فشل في كل مرة حاول فيها حني الملاعق. ظهر راندي بعد ذلك في عرض جوني كارسون، وقدم بنجاح خدعة حني الملاعق، لكنه كان حذرا حين قال إن هذا الفن سحر خالص وليس نتيجة قوة روحانية.

قدم راندي المدهش مليون دولار لأي شخص يمكنه عرض قوة روحانية بنجاح. وإلى الآن لم ينجح أي روحاني في التصدي لتحدي المليون دولار.

السايكوكاينيسيس والعلم

إحدى المشاكل في تحليل السايكوكاينيسيس علميا أن العلماء يخدعون بسهولة من قبل أولئك الذين يدعون أن لديهم قدرات روحانية. لقد درب العلماء على الاعتقاد بما يرونه بأعينهم في المختبر. لكن السحرة الذين يدعون قدرات روحانية مدربون على خداع الآخرين بخداع حواسهم البصرية. ونتيجة لذلك، كان العلماء مراقبين سيئين للظاهرة الروحانية. وعلى سبيل المثال، دعي علماء نفس في العام 1982 لتحليل طفلين صغيرين اعتقد أنهما يمتلكان قدرات غير عادية: مايكل ادوارد وستيف شو. ادعى هذان الصبيان قدرتهما على حني المعادن، وخلق صور على فيلم تصوير من خلال أفكارهما، وتحريك

الأجسام عبر قراءة العقل والسايكوكاينيسيس. وكان عالم النفس الغيبي مايكل ثالبورن معجبا جدا بهما بحيث إنه اخترع المصطلح «سايكوكاينيت» لوصف الصبيين. وكان علماء النفس الغيبي في مختبر ماكدونيل للبحوث النفسية في سانت لويس ميسوري مندهشين جدا لقدرات الصبيين. اعتقد علماء النفس الغيبي أن لديهم دليلا أصيلا على قدرات الصبيين النفسية وبدأوا بإعداد ورقة علمية حول الموضوع. وفي العام التالي أعلن الصبيان أنهما كانا يخادعان وأن «قدراتهما» نشأت من حيل سحرية عادية وليس من قوى فوق طبيعية. (استمر أحد الصبيين وهو ستيف شو ليصبح ساحرا شهيرا ظهر كثيرا على التلفزيون و«دفن حيا» لأيام في مرة من المرات).

أجريت تجارب مفصلة على السايكوكاينيسيس في معهد الراين بجامعة ديوك تحت ظروف متحكم بها ولكن بنتائج مختلفة. كانت إحدى الرواد في هذا الموضوع البروفيسورة غيرترود شميدلر، زميلة لي بجامعة سيتي في نيويورك. كانت محررة سابقة لمجلة علم النفس الغيبي ورئيسة سابقة لرابطة علماء النفس الغيبي وكانت مسحورة بالـ ESP وأجرت دراسات عدة على تلاميذها في الكلية. اعتادت شميدلر أن ترتاد حفلات الكوكتيل حيث يقوم مشاهير الروحانيين بإجراء حيل نفسية أمام المدعوين للعشاء من أجل أن تجند متطوعين لتجاربها. ولكنها بعد تحليل مئات الطلاب وعدد من الروحانيين والعقليين أسرت مرة لي أنها لم تستطع أن تجد شخصا واحدا يمكنه القيام بهذه الأفعال السايكونيتيكية عند الطلب تحت ظروف متحكم فيها مسبقا.

في إحدى المرات وزعت في الغرفة موازين حرارة صغيرة يمكنها قياس درجة الحرارة لأجزاء من الدرجة. وقد استطاع أحد العقليين بعد جهد عقلي شاق أن يرفع درجة حرارة أحد هذه الموازين بعشر الدرجة. كانت شميدلر فخورة لقيامها بهذه التجربة تحت ظروف متحكم فيها، لكن هذا الإنجاز ما زال بعيدا جدا عن تحريك أجسام كبيرة بحسب الطلب بواسطة القوة العقلية لشخص ما.

أجريــت إحدى أكثــر التجارب صرامــة، ولكنها موضــع جدل، حول السايكوكاينيســيس فــي برنامج بحث الشــواذ الهندســية (PEAR) في جامعة برنســتون، والذي أسســه روبرت جي. جان عام 1979 عندما كان عميدا لكلية الهندسة والعلوم التطبيقية. كان مهندسو PEAR يستكشفون فيما إذا كان العقل البشــري يســتطيع بالتفكير فقط تغيير نتائج عمليات عشــوائية. على ســبيل المثال، نعلــم أننا حين نرمي بقطعــة نقود فهناك احتمــال 50% للحصــول على الرأس أو الذيل. لكــن العلماء في PEAR ادعــوا أن التفكير البشــري فقط كان قادرا على التأثيــر على نتائج هذه الحوادث العشــوائية. خلال ثمان وعشرين سنة حتى إغلاق هذا البرنامج عام 2007 أجرى المهندســون في PEAR آلاف التجارب شــملت أكثر من 1.7 مليــون تجربة و340 مليون رمية نقود. لقد بدا أن النتائج تؤكد وجود تأثيرات السايكوكاينيســيس، لكن التأثيرات ضئيلة جدا، وليست أكثر من أجزاء قليلة من 10 آلاف في المتوسط. وحتى هذه النتائج الضئيلة لم يقبل بهــا علماء آخرون ادعوا أنه كان لدى الباحثين الذين قاموا بهذه التجارب تحيز خفي وعميق في بياناتهم.

وفــي عام 1988 طلــب الجيش الأمريكي من هيئــة البحوث الوطنية أن تفحص النشــاط فوق الطبيعي. كان الجيش الأميركي يرغب في البحث عن أي ميزة ممكنة يمكن أن يقدمها إلى جنوده، بما في ذلك القوة النفسية. درس تقرير هيئة البحوث الوطنية خلق «فرقة أرضية أولى» افتراضية[2] مؤلفة من «نســاك محاربين» يتقنون التقنيات المعتبرة من اللجنة جميعها تقريبا، بما في ذلك اســتخدام الـ ESP، تاركين أجسادهم حرة لترتفع وتعالج نفسيا وتمشي خلال جدران. وبتفحص ادعــاءات الـ PEAR، وجدت هيئة البحوث الوطنية أن نصــف التجارب الناجحة أتت من شــخص واحد. ويعتقد بعض النقاد أن هذا الشــخص هو الذي أجرى التجارب أو كتب برنامج الحاسوب لـ PEAR. ويقول الدكتور راي هايمان من جامعة أوريغون «إذا كان الشــخص الذي يدير المخبر هو الشــخص الوحيد الذي ينتج النتائج فإن هذا يمثل مشكلة بالنسبة إلي». واســتنتج التقرير أنه «لا يوجد تبريــر علمي[3] من البحث الذي أجري خلال 130 عاما على وجود ظاهرة علم النفس الغيبي».

إن المشكلة في دراسة السايكوكاينيسيس، حتى كما يعترف المدافعون عنها، هي أنها لا تلتزم بقوانين الفيزياء المعروفة. فالثقالة، وهي أضعف قوة في الكون، هي قوة جاذبة فقط، ولا يمكن استخدامها لرفع أجسام أو دفعها. وتتبع القوة الكهرطيسية علاقات ماكسويل ولا تعترف بإمكانية دفع أجسام محايدة كهربائيا عبر غرفة. وتعمل القوى النووية ضمن مسافات ضئيلة فقط، كالمسافة بين الجسيمات النووية.

المشكلة الأخرى بالنسبة للسايكوكاينيسيس هي تزويد الطاقة. يمكن لجسم الإنسان أن ينتج نحو خمس قوة حصان من الطاقة فقط، ومع ذلك فعندما رفع يودا في حرب النجوم سفينة فضائية كاملة بقوة عقله فقط، أو عندما أطلق سايكلوبس حزما من طاقة الليزر من عينيه، فإن هذه الأعمال اخترقت قانون الحفظ على الطاقة - جسم ضئيل مثل يودا لا يمكنه تجميع كمية الطاقة اللازمة لرفع سفينة فضائية. ومهما ركزنا، فإننا لا نستطيع تجميع الطاقة الكافية لإجراء المعجزات والإنجازات التي تنسب للسايكوكاينيسيس. وبوجود هذه المشاكل كلها كيف يمكن للسايكوكاينيسيس أن تكون متسقة مع قوانين الفيزياء؟

السايكوكاينيسيس والدماغ

إذا كان السايكوكاينيسيس لا يتقيد بسهولة بالقوى المعروفة للكون، إذن فكيف يمكن تطويعه في المستقبل؟ ظهر دليل على ذلك في حلقة لستار ترك عنوانها «من يحزن لأدونيس؟» حيث يصادف ملاحو السفينة انتربرايز صنفا من الكائنات يشبه آلهة اليونان لديهم القدرة على القيام بأعمال خارقة بالتفكير فيها فقط. في البداية يبدو كما لو أن الركاب قد التقوا فعلا بآلهة الأولمب. ولكن في النهاية يدرك الركاب أن هؤلاء ليسوا آلهة على الإطلاق، لكنهم مخلوقات عادية يمكنهم التحكم عقليا في محطة طاقة مركزية تقوم بتنفيذ جميع رغباتهم وتنجز هذه الأفعال الخارقة. وبتحطيم محطتهم المركزية استطاع ركاب السفينة **انتربرايز** التحرر من سلطتهم.

بالمثل، فمن ضمن قوانين الفيزياء أن يدرب شخص في المستقبل على التحكم عقليا في جهاز تحسس إلكتروني يعطيه قدرات مقاربة لقدرات الآلهة. إن السايكوكاينيسيس المحفز رأيويا أو حاسوبيا احتمال حقيقي. وعلى سبيل المثال يمكن استخدام الـ EEG كجهاز سايكوكاينيسيس بدائي. وعندما ينظر الناس في نماذج EEG لعقولهم على شاشة، يعرفون في النهاية كيف يتحكمون بشكل تقريبي ولكن بوعي في نماذج الدماغ التي يرونها بعملية دعيت «تغذية راجعة حيوية».

وبما أنه لا يوجد مخطط للدماغ يخبرنا «أي عصبون» يتحكم في أي عضلة، فسيحتاج المريض للمشاركة الفعالة في تعلم كيفية التحكم في هذه النماذج الجديدة عبر الحاسوب.

وفي النهاية، يمكن للأشخاص بحسب الطلب أن ينتجوا أنواعا معينة من نماذج الموجات على الشاشة. ويمكن إرسال الصورة من الشاشة إلى حاسوب مبرمج للتعرف على نماذج الموجات المعينة هذه، ومن ثم تنفيذ أمر معين مثل إدارة مفتاح كهربائي أو تشغيل محرك. وبعبارة أخرى يمكن لشخص بمجرد التفكير أن يخلق نموذجا عقليا محددا على شاشة EEG وتشغيل محرك أو حاسوب.

وبهذه الطريقة، على سبيل المثال، يمكن لشخص مشلول تماما أن يتحكم في كرسيه المتحرك بقوة أفكاره فقط. أو إذا استطاع شخص أن ينتج ستة وعشرين نموذجا معروفا على الشاشة فقد يستطيع أن يكتب بمجرد التفكير فقط. وبالطبع سيبقى هذا طريقة تقريبية فقط لنقل أفكار شخص ما. وسيتطلب الأمر زمنا طويلا لتدريب الناس على التحكم في موجات عقولهم[4] عن طريق التغذية الراجعة الحيوية.

اقترب مشروع «الكتابة على الآلة الكاتبة بالتفكير» من التحقق مع عمل نيلز بيرباومر من جامعة توبينغن في ألمانيا. استخدم نيلز التغذية الراجعة الحيوية لمساعدة الناس الذي شلوا جزئيا بسبب عطب في جهازهم العصبي. وبتدريبهم على تغيير موجات عقولهم استطاع أن يعلمهم كتابة جمل بسيطة على شاشة الحاسوب.

زرعت أقطاب ضمن عقول القرود ودربت بواسطة التغذية الراجعة الحيوية على التحكم في بعض أفكارها. واستطاعت هذه القرود التحكم[5] في ذراع روبوت عبر الإنترنت بالتفكير فقط.

أجريت مجموعة أكثر تحديدا من التجارب في جامعة ايموري في أتلانتا، حيث زرعت كرة زجاجية مباشرة في دماغ رجل شل بسبب نوبة قلبية. اتصلت الكرة الزجاجية بسلك كان بدوره موصولا بجهاز الحاسوب. وبالتفكير في أفكار معينة استطاع الرجل إرسال إشارات في السلك وتحريك المشيرة على شاشة حاسوب. وبالتدريب وباستخدام التغذية الراجعة الإيجابية استطاع الرجل أن يتحكم بوعي في حركة المشيرة. ومن حيث المبدأ، يمكن استخدام المشيرة على الشاشة لكتابة أفكار وتشغيل آلات وقيادة سيارات افتراضية ولعب ألعاب الفيديو وأشياء أخرى.

حقق عالم الأعصاب من جامعة براون جون دونهيو الاختراق الأهم في تفاعل العقل – آلة. صمم جون جهازا يدعى برين غيت (Brain Gate)، أو بوابة الدماغ يمكّن شخصا مشلولا من القيام بسلسلة مهمة من الأنشطة الفيزيائية مستخدما قوة عقله فقط. اختبر دونهيو الجهاز على أربعة مرضى، اثنان منهم كانا يعانيان من إصابة النخاع الشوكي، بينما عانى الثالث من سكتة دماغية، وكان الرابع مشلولا ومصابا بمرض التصلب العضلي الجانبي (ALS)، وهو المرض الذي يعاني منه عالم الكون ستيفن هوكنغ.

استغرق أحد مرضى دونهيو وهو ماثيو نيغل ذو الخمسة والعشرين عاما المشلول من العنق للأسفل، يوما واحدا فقط لتعلم مهارات حاسوبية جديدة تماما. ويستطيع الآن تغيير القنوات التلفزيونية والتحكم في الصوت وفتح يد اصطناعية وإغلاقها ورسم دائرة تقريبية وتحريك مشيرة الحاسوب ولعب ألعاب الفيديو وحتى قراءة البريد الإلكتروني. لقد أثار ضجة في وسائل الاعلام بالمجتمع العلمي عندما ظهر على غلاف مجلة نيتشر في صيف العام 2006.

تألف «برين غيت» لدونهيو من شريحة سيليكونية ضئيلة عرضها 4 ميلليمترات فقط تحتوي على مائة قطب ميكروي. وضعت الشريحة مباشرة في أعلى جزء من الدماغ، حيث ينسق نشاط المحرك. اخترقت

الشريحة نصف قشرة المخ التي يبلغ ثخنها 2 ميلليمتر. تحمل أسلاك ذهبية الإشارات من شريحة السيليكون إلى مضخّم بحجم صندوق السيجار. ثم ترسل الإشارات المضخمة إلى حاسوب بحجم آلة غسل الأطباق. تعالج الإشارات ببرنامج حاسوبي خاص يميز بعض النماذج المخلوقة من الدماغ ويترجمها إلى حركات ميكانيكية.

في التجارب السابقة على مرضى يقرأون موجات EEG الخاصة بهم كانت عملية استخدام التغذية الراجعة الحيوية بطيئة ومعقدة. ولكن باستخدام حاسوب يساعد المريض على تمييز نماذج أفكار معينة، تختصر عملية التدريب كثيرا. في حصته التدريبية الأولى أخبر نيغل أن يتصور نفسه يحرك ذراعه ويده إلى اليمين واليسار، ويحرك رسغه ومن ثم يفتح قبضة يده ويغلقها. وابتهج دونهيو كثيرا عندما رأى أعصابا مختلفة تنشط حقا عندما تخيل نيغل نفسه يحرك يديه وأصابعه. ويقول: «بالنسبة إلي كان شيئا لا يصدق أن أرى خلايا الدماغ وهي تغيّر نشاطها. لقد عرفت عندها أن كل شيء يمكن أن يتطور[6]، وأن التقانة ستعمل حقا».

كان لدونهيو دافع شخصي وراء حماسه لهذا النوع الغريب من العلاقة بين العقل والآلة. فعندما كان طفلا كان حبيس الكرسي بسبب مرض انتكاسي مؤلم، لذا فقد خبر عن معرفة العجز الناجم عن فقد الحركة.

كانت لدى دونهيو خطط طموحة لجعل «برين غيت» أداة ضرورية للمهنة الطبية. وبالتقدم في تقانة الحاسوب، أصبح جهازه الذي كان حجمه يبلغ حجم غاسل الأطباق جهازا محمولا، وربما يمكن أن يلبس مع الثياب في المستقبل. ويمكن التخلص من الأسلاك المعيقة إذا جعلت الشريحة من دون أسلاك، بحيث يمكن للمزروع أن يتصل لاسلكيا بالعالم الخارجي.

إنها مسألة وقت فقط قبل أن تنشّط أجزاء أخرى من الدماغ بالطريقة نفسها. لقد مسح العلماء سطح أعلى الدماغ. (لو رسم شخص أشكالا تبين أيدينا، وأرجلنا، ورؤوسنا، وظهورنا على أعلى رؤوسنا تمثل أمكنة اتصال هذه الأعصاب بصورة عامة، فسنجد

شيئا يدعى «القزم» أو الرجل الصغير. وستشبه صورة أعضاء جسمنا المكتوبة على دماغنا، رجلا مشوها بأصابع ووجه ولسان مطوّلة، وبجذع وظهر مقلّصين).

من الممكن وضع شرائح سيليكونية على أجزاء مختلفة من سطح الدماغ، بحيث يمكن تنشيط أعضاء وروابط مختلفة بقوة التفكير فقط. وبهذه الطريقة يمكن نسخ أي نشاط فيزيائي يمكن للجسم البشري القيام به. وفي المستقبل يستطيع المرء تخيل شخص مشلول يعيش في بيت مصمم سايكوكينيتيكيا بحيث يستطيع التحكم في جهاز التكييف والتلفاز والمعدات الكهربائية جميعها بقوة التفكير المجرد فقط.

ومع الزمن يمكن للمرء تصور جسم بشري محبوس ضمن «هيكل خارجي» خاص يسمح لشخص مشلول بحرية كاملة للحركة. ويمكن لهذا الهيكل الخارجي من حيث المبدأ أن يعطي المرء قدرات لا يمتلكها الشخص العادي، مما يحوله إلى كائن بأعضاء آلية يمكنه التحكم في القدرة الميكانيكية الهائلة لأطرافه الفائقة بواسطة التفكير فقط.

لذا لم يعد التحكم في الحاسوب بواسطة عقل شخص ما مستحيلا، لكن هل يعني هذا أننا قد نستطيع في يوم ما تحريك الأجسام وأن نرفعها ونتحكم بها في الهواء بمجرد التفكير فقط؟

يتمثل أحد الاحتمالات في دهان جدراننا بناقل فائق عند درجة حرارة الغرفة، بافتراض أن مثل هذا الجهاز يمكن صنعه يوما ما. ثم إذا وضعنا مغانط كهربائية ضئيلة داخل أدوات منازلنا فيمكننا أن نجعلها ترتفع عن الأرض بواسطة تأثير مايسنر كما رأينا في الفصل الأول. وإذا تم التحكم في هذه المغانط الكهربائية بواسطة حاسوب وربط هذا الحاسوب بعقولنا فسيكون بإمكاننا جعل هذه المغانط تطفو بحرية. وبالتفكير في أفكار معينة يمكننا تنشيط الحاسوب الذي يمكنه بعد ذلك تحويلها إلى مغانط كهربائية مختلفة جاعلا إياها ترتفع. وسيبدو هذا بالنسبة إلى مراقب خارجي سحرا - القدرة على تحريك الأجسام ورفعها كما نشاء.

الروبوتات النانوية Nanobots

ماذا عن الطاقة التي لا تحرك الأجسام فقط بل تحولها إلى جسم آخر كما لو كان الأمر سحرا؟ يقوم السحرة بهذه الأشياء بفضل خفة أيديهم. ولكن هل تتسق مثل هذه القوة مع قوانين الفيزياء؟

إن أحد أهداف التقانة النانوية كما ذكرنا سابقا القدرة على استخدام الذرات لبناء آلات صغيرة جدا يمكنها أن تعمل كروافع ومسننات وبكرات وحوامل كروية. وبهذه الآلات النانوية يأمل العديد من الفيزيائيين أن يتمكنوا من إعادة ترتيب الجزيئات ضمن جسم ما ذرة فذرة حتى يتحول جسم ما إلى جسم آخر. وهذا هو أساس عمل «الناسخ» المذكور في قصص الخيال العلمي، الذي يسمح للمرء بأن يصنع أي جسم يريد بمجرد أن يطلب ذلك. ومن حيث المبدأ، يمكن لـ «الناسخ» أن يقضي على الفقر ويغير طبيعة المجتمع نفسه. وإذا استطاع المرء أن يصنع أي جسم بمجرد أن يطلبه، فستقلب مبادئ الندرة والقيمة والتراتب بأكملها ضمن المجتمع البشري رأسا على عقب.

تشتمل إحدى حلقات مسلسل ستار ترك: الجيل التالي، المفضلة لدي، على ناسخ. عثر على كبسولة فضائية قديمة تتجرف في الفضاء الخارجي وتحتوي أجسادا مجمدة لأناس عانوا من أمراض مميتة. تدفأ هذه الأجساد بسرعة وتعالج بطب متقدم. ويدرك أحد رجال الأعمال أن استثماراته لا بد أنها تضخمت بعد هذه القرون العديدة. ولذا يسأل ركاب سفينة انتربرايز مباشرة عن استثماراته وأمواله. ويدهش ركاب السفينة لهذا السؤال ويقولون له: مال؟ استثمار؟ في المستقبل لن يكون هناك مال. إذا أردت شيئا فكل ما عليك فعله هو أن تطلبه.

لقد خلقت الطبيعة مسبقا ناسخا مدهشا، فـ «برهان المبدأ» موجود مسبقا. يمكن للطبيعة أن تأخذ المواد الخام مثل اللحوم والخضراوات وتصنع منها إنسانا في تسعة أشهر، فمعجزة الحياة ليست سوى مصنع نانوي كبير يستطيع على المستوى الذري تحويل نوع من المادة (الغذاء مثلا) إلى نسيج حي (طفل).

ولخلق مصنع نانوي يحتاج المرء إلى ثلاثة عناصر: مواد بناء، وأدوات تقطع المواد وتصلها، ومخطط يوجه استخدام هذه المعدات والمواد. في الطبيعة فإن مواد البناء هي آلاف الأحماض الأمينية والبروتينات التي يمكن منها صنع الدم واللحم. وأدوات القص والوصل - كالمطارق والمناشير - اللازمة لتشكيل هذه البروتينات إلى أشكال جديدة من الحياة هي الريبوسومات. وهي مصممة لقص البروتينات ووصلها عند نقاط معينة لخلق أنواع جديدة من البروتينات. ويقدم جزيء «الدنا» المخطط الذي يحتوي على شفرة الحياة على شكل سلسلة معينة من الأحماض النووية. تتحد هذه العناصر الثلاثة بدورها في خلية تمتلك القدرة المميزة على نسخ نفسها، أي عملية النسخ الذاتي. ويتم هذا الإنجاز لأن جزيء «الدنا» على شكل حلزون مزدوج. وعندما يحين الوقت للتوالد ينفصل جزيء «الدنا» على شكل حلزونين منفصلين. يقوم كل حلزون منهما بنسخ نفسه بالتقاط جزيئات عضوية لإعادة صنع الحلزون المفقود.

حتى الآن لم يحقق الفيزيائيون سوى نجاح محدود في جهودهم لتقليد هذه الخصائص الموجودة في الطبيعة. لكن النجاح الرئيس كما يعتقد العلماء هو صنع مجموعات من «روبوتات نانوية» قادرة على نسخ نفسها ذاتيا، وهي آلات ذرية مبرمجة مصممة لإعادة ترتيب الذرات ضمن الجسم.

ومن حيث المبدأ لو امتلك شخص ما تريليونات الروبوتات النانوية فسيمكنها التوجه نحو جسم ما وقطع ذراته ثم لصقها إلى أن تقوم بتحويل جسم إلى جسم آخر. ولأنها تنسخ نفسها ذاتيا فستكفي حفنة منها فقط لبدء هذه العملية، ويجب أيضا أن تكون قابلة للبرمجة بحيث تستطيع اتباع مخطط معين.

ويجب التغلب على عقبات هائلة قبل أن يتمكن المرء من بناء أسطول من الروبوتات النانوية. أولا، من الصعب بناء روبوتات تنسخ نفسها ذاتيا حتى على المستوى الميكروي. (وحتى صنع أدوات ذرية بسيطة مثل حامل كرات ومسنن ذريين هو فوق قدرات التقانة الحالية). إذا أعطي

شخص ما جهاز حاسوب وخزانة مليئة بقطع غيار إلكترونية فسيكون من الصعب جدا عليه بناء آلة تنسخ نفسها ذاتيا. ولذا إذا كان من الصعب بناء آلة تنسخ ذاتها على طاولة، فبناء آلة على المستوى الذري أصعب من ذلك بكثير.

وثانيا، ليس من الواضح كيف يستطيع المرء برمجة مثل هذا الجيش من الروبوتات النانوية من الخارج. اقترح البعض إرسال إشارات راديوية لتنشيط كل روبوت نانوي. وربما أمكن إطلاق أشعة ليزرية عليها تحتوي على تعليمات. ولكن هذا سيعني مجموعة مستقلة من التعليمات لكل روبوت نانوي، والتي يمكن أن توجد تريليونات منها. ثالثا، ليس من الواضح كيف يمكن لروبوت نانوي أن يقص الذرات ويعيد ترتيبها ويلصقها في الترتيب المناسب. تذكّر أن الطبيعة استغرقت ثلاثة مليارات ونصف المليار سنة لحل هذه المشكلة، وسيكون من الصعب جدا حلّها خلال عقود.

أحد الفيزيائيين الذين يأخذون فكرة الناسخ أو «المصنع الشخصي» بجد هو نيل غريشينفيلد من الـ MIT(*). حتى إنه يدرّس مادة في الـ MIT تدعى «كيف يمكنك أن تصنع أي شيء (تقريبا)» وهي إحدى أكثر المواد شعبية في الجامعة. يدير غريشينفيلد مركز الـ MIT للأحرف والذرات، وقد فكر جديا في الفيزياء التي تقف وراء الناسخ الشخصي والذي يعتبره «الشيء الكبير التالي»، حتى إنه قام بتأليف كتاب بعنوان FAB: الثورة القادمة على طاولتك – من الحاسوب الشخصي إلى التصنيع الشخصي، يفصّل فيه أفكاره حول التصنيع الشخصي. والهدف كما يرى هو «صنع آلة يمكنها صنع أي آلة أخرى». ولنشر أفكاره أنشأ مسبقا شبكة من المختبرات المنتشرة حول العالم، وبشكل رئيس في دول العالم الثالث حيث سيكون للتصنيع الشخصي التأثير الأعظم.

يتصور غريشينفيلد في البداية صانعا عاما صغيرا بما يكفي ليوضع فوق طاولة، يستخدم أحدث التطورات في الليزر والتصغير الميكروي مع القدرة على قص أي جسم يمكن تخيله على الحاسوب ولحامه وتشكيله. يمكن للفقراء في بلدان العالم الثالث على سبيل المثال أن يطلبوا بعض

(*) معهد ماساتشوستس للتقنية.

الأدوات والآلات التـــي يحتاجونها في مزارعهم. تغـــذى هذه المعلومة إلى حاســـوب يمكنه الدخـــول إلى مكتبة واســـعة من المخططـــات والمعلومات التقنية من الإنترنت. ويقوم برنامج حاســـوبي بعد ذلك بإجراء تطابق بين المخططات الموجودة ومتطلبات الأفـــراد ومعالجة المعلومات ومن ثم إعادة إرســـالها بالبريد الإلكتروني إليهم. ثم يقوم مصنّعهم الشخصي باستخدام الليزر وأجهزة القطع الميكروية لصنع المادة التي يريدونها فوق الطاولة.

هذا المصنّع الشخصي العام هو الخطوة الأولى فقط. في نهاية المطاف يود غريشينفيلد مدّ فكرته لتطبيقها على المستوى الجزيئي بحيث يستطيع المرء أن يصنّع حرفيا أي جســـم يمكن تصوره بالعقل البشري، لكن التقدم في هذا الاتجاه بطيء بسبب الصعوبة في التحكم بالذرات المفردة.

إن أحـــد الرواد في هذا المنحى هو أريســـتايدس ريكويشـــا من جامعة جنوب كاليفورنيا. إن اختصاصه هو «الروبوتية الجزيئية» وهدفه ليس أقل من خلق أســـطول من الروبوتات النانوية التـــي يمكنها التحكم في الذرات بحســـب الرغبة. يكتب ريكويشـــا بأن هناك اتجاهـــين. الأول الاتجاه «من الأعلى للأسفل»، حيث يستخدم المهندســـون تقانة النقش المستخدمة في صناعـــة أنصاف النواقل لصنـــع دارات ميكروية يمكنهـــا أن تعمل كعقول للروبوتـــات النانوية. وبهذه التقانة يمكن للمرء أن يصنع روبوتات ميكروية تكون عناصرها ببعد 30 نانو مترا باستخدام «النقش النانوي»، والذي هو مجال يتقدم بسرعة.

لكن هناك أيضا اتجاه «من الأســـفل للأعلى»، حيث يحاول المهندسون خلق روبوتات ميكروية ذرة فذرة. وســـتكون الأداة الرئيسة لهذا هي مجهر المســـح الميكـــروي SPM scanning probe microscope الذي يســـتخدم تقانة مجهر المســـح النفقي نفسها لتمييز الذرات المفردة وتحريكها. وعلى ســـبيل المثال، أصبح العلماء ماهرين في تحريك ذرات الزينون على سطح مـــن النيكل أو البلاتـــين. ولكنه يعترف بأنه «لا يزال يســـتغرق من أفضل المجموعات في العالم[7] نحو 10 ســـاعات لتركيب بنية مؤلفة من خمسين ذرة». إن تحريك الذرات المفردة باليد عمل بطيء وشاق. وما يلزم كما يؤكد هو نوع جديد من الآلات يمكنه أن يقوم بوظائف ذات مســـتوى رفيع. هذه

الوظائف يمكنها أن تحرك آليا مئات الذرات كل مرة بالطريقة المرغوبة. ولسوء الحظ فمثل هذه الآلة غير متوافر إلى الآن، ولذا ليس من الغريب أن يبقى المنحى من الأسفل للأعلى في المهد.

لذا على الرغم من أن السايكوكاينيسيس مستحيل بمعايير اليوم، إلا أنه قد يصبح ممكنا في المستقبل، حين نقترب أكثر من فهم كيفية الوصول إلى أفكارنا عبر الـ EEG والـ MRI والطرق الأخرى. وقد يكون من الممكن خلال هذا القرن استخدام جهاز يدفع بالتفكير فقط للتحكم في النواقل الفائقة عند درجة حرارة الغرفة، والقيام بإنجازات لا يمكن تمييزها عن السحر. وبحلول القرن القادم قد يكون من الممكن إعادة ترتيب الجزيئات في جسم كبير. وهذا يجعل السايكوكاينيسيس استحالة من النوع الأول.

إن المفتاح لهذه التقانة، كما يدّعي بعض العلماء، هو خلق روبوت نانوي بذكاء اصطناعي. ولكن قبل أن نستطيع خلق روبوتات بحجم الجزيئات، هناك سؤال أساسي بشكل كبير وهو: هل من الممكن للروبوتات أن توجد على الإطلاق؟



7

الروبوتات

«في يوم ما في الثلاثين سنة المقبلة، وبهدوء شديد، سنتوقف عن كوننا الأذكى على سطح الأرض».

جيم ماكلير

«على الرغم من أن القوانين الأساسية للذكاء الصناعي لاتزال غير مكتشفة، فإن التطور في هذا المجال يحدث بسرعة كبيرة ويعد بالكثير»

المؤلف

في فيلم «أنا، روبوت» المستوحى من قصص إسحق أسيموف، ينشّط النظام الروبوتي الأكثر تقدما في العام 2035. يدعى هذا النظام فيكي Viki(*) (ذكاء افتراضي تفاعلي حركي)، وقد صمم النظام لتشغيل العمليات في مدينة كبيرة من دون خطأ. يتم التحكم في كل شيء من نظام النقل في الأنفاق إلى شبكة إمداد الكهرباء وآلاف الروبوتات المنزلية بواسطة النظام فيكي. مهمته الرئيسية: خدمة البشرية.

(*) Virtual Interactive Kinetic Intelligence

لكـن في أحد الأيام يسـأل فيكي السـؤال الأهم: من هـو العدو الرئيس للبشـرية؟ ويستنتج فيكي رياضيا أن أسـوأ عدو للبشر هم البشر ذاتهم. يجب إنقاذ البشرية من رغبتها المجنونة في تلويث الكوكب وتدميره وإشعال الحروب فيه. كان الطريق الوحيد أمام فيكي لتنفيذ مهمته الرئيسـة هو السيطرة على الحكم وخلق ديكتاتورية عادلة للآلة. يجب استعباد البشر لإنقاذهم من أنفسهم.

يثير «أنا، روبوت» هذه الأسئلة: باعتبار التقدم الفلكي السريع في قدرة الحاسـوب، هل يمكن للآلة أن تسـيطر يوما ما؟ هل يمكن للروبوتات أن تصبح متقدمة إلى الدرجة التي تشكل فيها التهديد الأكبر لوجودنا؟

يقول بعض العلماء لا، لأن فكرة الذكاء الاصطناعي في حد ذاتها فكرة سـخيفة. وهناك مجموعة من النقاد الذين يقولون إن من المسـتحيل بناء آلات يمكنها أن تفكر. ويحاجون بأن العقل البشـري هو أعقد نظام خلقته الطبيعـة، على الأقل في هـذا الجزء من المجرة، وأن أي آلة تصمم لإعادة إنتاج التفكير البشري مصيرها الفشل. ويعتقد الفيلسوف جون سيرل من جامعـة كاليفورنيا فـي بيركلي، وحتى الفيزيائي الشـهير روجر بنروز[1]، أن الآلات غيـر قادرة فيزيائيا على التفكير البشـري. ويقول كولن ماكغن من جامعة روتجرز إن الـذكاء الاصطناعي[2] «مثل رخويات تحاول إجراء التحليل الفرويدي. إنها ببساطة لا تمتلك الأدوات الفكرية لذلك».

إنه السـؤال الذي قسـم المجتمع العلمي لأكثر من قرن: هل تسـتطيع الآلات التفكير؟

تاريخ الذكاء الاصطناعي

أدهشـت فكرة الكائنات الميكانيكية المخترعين والمهندسين والرياضيين والحالمين لفترة طويلة. لقد سـحرتنا فكـرة الآلات التي تعمل وتنفذ مثل البشـر من الرجل القصديري فـي فيلم «السـاحر أوز» (*) إلى روبوتات الأطفال لسـبيلبيرغ في الـذكاء الاصطناعـي: (AI) (**) إلى الروبوتات القاتلة في «القاتل» (***).

(*) The Wizard of Oz

(**) Artificial Intelligence: AI

(***) The Terminator

وفي الأسطورة اليونانية صنع الإله فولكان خادمات ميكانيكية من الذهب وطاولات بثلاثة أرجل يمكنها أن تتحرك بقوتها الذاتية. ومنذ العام 400 ق.م كتب الرياضي اليوناني آركيتاس من تارينتوم حول إمكانية صنع طير آلي يتحرك بقوة البخار.

وفي القرن الأول بعد الميلاد صمم هيرو من الإسكندرية (عزي إليه تصميم أول آلة تعمل على البخار) آليات يمكن لأحدها التكلم، كما تقول الأسطورة. ومنذ 900 سنة صمم الجزري(*) وصنع أجهزة آلية كالساعات المائية ومعدات الطبخ وأدوات موسيقية تتحرك بقوة الماء.

وفي العام 1495 رسم فنان النهضة العظيم والعالم ليوناردو دافنشي رسومات لفارس آلي يمكنه الجلوس والتلويح بذراعيه وتحريك رأسه وفكيه. ويعتقد المؤرخون أن هذا كان أول تصميم واقعي للآلة - الإنسان.

بني أول روبوت خام يعمل في العام 1738 من قبل جاك دو فوكانسو، الذي صنع روبوتا يمكنه العزف على المزمار، وبطة ميكانيكية.

تأتي الكلمة «روبوت» من المسرحية التشيكية آر. يو. آر (R.U.R) للمؤلف المسرحي كارل كابك في العام 1920 (تعني الكلمة «روبوت» «العمل الحقير» في اللغة التشيكية و«عمل» في اللغة السلوفاكية). يصنّع في المسرحية معمل يدعى «معمل روسام العام للروبوتات» جيشا من الروبوتات للقيام بأعمال يدوية. لكن على النقيض من الآلات العادية، فإن هذه الروبوتات مصنوعة من لحم ودم. وفي النهاية يصبح الاقتصاد العالمي معتمدا على هذه الروبوتات. لكن الروبوتات تعامل بشكل سيئ، وفي النهاية تثور ضد أسيادها من البشر وتقتلهم. لكنها في فورة هيجانها، تقتل العلماء الذين يمكنهم إصلاحها وصنع روبوتات جديدة، وبالتالي تحكم على نفسها بالفناء.

(*) هو بديع الزمان أبو العز بن الرزاز (1206 - 1136)، لقب بالجزري لأنه ولد في منطقة جزيرة عمر، الواقعة على نهر دجلة. كان كبير مهندسي الميكانيكا في بلاط حكام ديار بكر. وكل ما وصلنا عن أعماله أخذ من كتابه «الجامع بين العلم والعمل في صناعة الحيل» [المحررة].

وفـــي النهاية يكتشـــف روبوتان متميزان أنهما يمتلـــكان القدرة على إعادة التناسل وأن يصبحا آدم وحواء جديدين.

كانـــت الروبوتـــات أيضا موضـــوع أحد أوائل الأفـــلام الصامتة وأكثرهـــا تكلفة، وهو فيلم «العاصمـــة» (ميتروبوليس) الذي أخرجه فريتز لانـــغ في العام 1927 في ألمانيا. تقع أحداث الفيلم في العام 2026، حيـــث حكم على الطبقة العاملة أن تعمل في مصانع حقيرة وقذرة تحـــت الأرض، بينما تلهـــو الطبقة الحاكمة على ســـطحها. تكســـب امرأة جميلة، ماريا، ثقة العمال، لكن النخبة الحاكمة تخاف أن تقودهم يوما ما إلى الثورة. ولذا يطلبون من عالم شرير أن يصنع روبوتا على شـــكل نســـخة من ماريا. وفي النهاية ترتدّ المؤامرة على المتآمريـــن لأن الروبوت يقود العمال إلى الثورة ضد النخبة الحاكمة ويهدم النظام الاجتماعي.

يختلف الذكاء الاصطناعي أو أي. آي. AI عن التقانات الســـابقة التي ناقشـــناها حتى الآن في أن القوانين الأساس التي تقف وراءه لاتزال غير مفهومـــة بشـــكل جيد. وعلى الرغم مـــن أن لدى الفيزيائيـــين فهما جيدا لميكانيكا نيوتن ونظرية ماكســـويل فـــي الضوء ونظريـــة الكوانتم للذرات والجزيئات، فإن القوانين الأســـاس للذكاء لاتزال محاطة بالأسرار. وربما لم يخلق إلى الآن نيوتن الذكاء الاصطناعي.

لكن يظل الرياضيون وعلماء الحاسوب متفائلين. فالأمر بالنسبة إليهم مسألة وقت فقط قبل أن تخرج آلة مفكرة من المختبر.

كان أكثر الأشـــخاص نفوذا في مجال الذكاء الاصطناعي هو الرياضي الإنجليـــزي العظيم ألان تورنـــغ، وهو باحث رائد ســـاعد في وضع حجر الأساس لبحوث الذكاء الاصطناعي.

وضع تورنغ حجر الأساس لثورة الحاسوب بكاملها. لقد تصور آلة (دعيت منـــذ ذلك الوقت بآلة تورنغ) مؤلفة مـــن ثلاثة عناصر فقط: شريط إدخال وشـــريط إخراج ومعالج مركزي (شـــريحة بنتيوم على ســـبيل المثال) تســـتطيع إجراء مجموعة محددة مـــن العمليات. ومنها اســـتطاع ترميز قوانـــين آلات الحاســـوب وتحديد قوتهـــا وحدودها

القصوى بالضبط. واليوم تطيع الحواسب الإلكترونية كلها القوانين الصارمة التي وضعها تورنغ. وتدين هيكلية العالم الرقمي بكاملها بدين كبير إلى تورنغ.

ساهم تورنغ أيضا في وضع أسس المنطق الرياضي. وقد صدم الرياضي كيرت غودل من فيينا في العام 1931 عالم الرياضيات بالبرهان على أن هناك مقولات صادقة في الرياضيات لا يمكن البرهان عليها من ضمن البديهيات الرياضية. (على سبيل المثال، لازالت حدسية غولدباخ من العام 1742 [وهي أن من الممكن كتابة كل رقم زوجي أكبر من 2 كمجموع لرقمين أوليين] غير مبرهن عليها بعد قرنين ونصف القرن، وقد لا يمكن البرهان عليها إطلاقا). حطّم كشف غودل حلما عمره ألفا عام، يعود إلى اليونان، بالبرهان على المقولات الصادقة في الرياضيات. لقد أظهر غودل أن هناك دوما مقولات صادقة في الرياضيات مازالت خارج قبضتنا. لقد برهن أن الرياضيات غير تامة، وهي أبعد عن أن تكون ذلك البنيان المثالي الكامل الذي حلم به اليونان.

أضاف تورنغ إلى هذه الثورة بإظهار أن من المستحيل أن تعرف بشكل عام فيما إذا كانت آلة تورنغ ستأخذ زمنا لانهائيا لإجراء عمليات رياضية معينة. لكن لو أخذ حاسوب ما زمنا لا نهائيا لحساب عملية ما فهذا يعني أن ما تسأل الحاسوب أن يحسبه غير قابل للحساب. وبالتالي برهن تورنغ أن هناك مقولات صادقة في الرياضيات غير قابلة للحوسبة، أي أنها ستبقى للأبد فوق قدرة الحاسبات مهما بلغت قوتها.

وخلال الحرب العالمية الثانية أنقذ عمل تورنغ الرائد على فك الشيفرة الآلاف من جنود الحلفاء وأثّر على حصيلة الحرب. لم يستطع الحلفاء فك شيفرة النازيين السرية التي كتبتها آلة دُعيت الإنغما (Engima) (اللغز). لذا طلب من تورنغ وزملائه بناء آلة يمكنها فك شيفرة النازيين. دُعيت آلة تورنغ بومبي (bombe) ونجحت في النهاية في مهمتها. وكانت هناك نحو مائتين من هذه الآلات تعمل عند

نهاية الحرب. ونتيجة لذلك استطاع الحلفاء قراءة المراسلات السرية للنازيين، وبالتالي خداعهم حول موعد الغزو النهائي لألمانيا ومكانه. تناقش المؤرخون كثيرا منذ ذلك الوقت حول دور تورنغ في التخطيط لغزو النورماندي الذي أدى في النهاية إلى هزيمة ألمانيا. (صنّف عمل تورنغ على أنه سري بعد الحرب من قبل الحكومة البريطانية، ونتيجة لذلك لم يتعرف الجمهور العام على مساهماته المحورية).

وبدلا من أن يكافأ تورنغ كبطل حرب ساعد في عكس مدّ الحرب العالمية الثانية، فقد لوُحق حتى وفاته. وفي أحد الأيام سُرق منزله واستدعى الشرطة. ولسوء حظه وجدت الشرطة دليلا على لواطته وقبضت عليه. وحكمت المحكمة بعد ذلك على تورنغ بحقنه بهرمونات الجنس التي أثرت فيه بشكل سيئ وسببت نمو ثدييه وجعلته يعاني تعبا عقليا كبيرا. انتحر في العام 1954 بأكله تفاحة مغموسة في السيانيد. (وفق إحدى الشائعات، فإن شعار شركة آبل للحاسوب عبارة عن تفاحة أخذ منها مقدار عضة تشريفا لتورنغ).

واليوم ربما اشتهر تورنغ بسبب «اختبار تورنغ». ولتعبه من النقاش الفلسفي غير المجدي واللامنتهي حول ما إذا كانت الآلات تفكر أو أن لها «روحا» حاول إدخال الدقة والضبط إلى النقاش حول الذكاء الاصطناعي بتصميم اختبار مادي. اقترح وضع إنسان وآلة في صندوقين مغلقين. ثم يسمح لك بتوجيه الأسئلة لكل صندوق. إذا لم تستطع معرفة الفرق بين استجابات الإنسان والآلة فقد نجحت الآلة في «اختبار تورنغ».

كتبت برامج حاسوبية بسيطة من قبل العلماء مثل إليزا (ELIZA) تقلد الحديث، وبالتالي تخدع معظم الناس غير الشكاكين في الاعتقاد بأنهم يتكلمون مع إنسان. (تستخدم معظم الأحاديث البشرية على سبيل المثال بضع مئات من الكلمات فقط، وتركز على عدد بسيط من المواضيع). ولكن لم يكتب إلى الآن أي برنامج حاسوبي يستطيع خداع أناس يحاولون تمييز الصندوق الذي يحوي إنسانا عن الصندوق الذي

يحـــوي آلة. (تنبأ تورنغ نفســـه أنه بحلول العـــام 2000، باعتبار النمو الأسي للقدرة الحاسوبية، يمكن بناء آلة يمكنها خداع 30% من الحكّام خلال اختبار لمدة خمس دقائق فقط).

أعلـــن جيش صغيـــر من فلاســـفة ولاهوتيين أن من المســـتحيل خلق روبوتـــات يمكنها أن تفكّر مثلنا. واقترح جون ســـيرل، وهو فيلســـوف من جامعة كاليفورنيـــا في بيركلي، «اختبار الغرفـــة الصينية» للبرهان على أن الـــذكاء الصناعي غير ممكن. حاجج ســـيرل في الحقيقـــة أنه بينما قد تســـتطيع الروبوتات أن تجتاز أشـــكالا معينة من اختبار تورنغ، فإنها تســـتطيع فعل ذلك فقط لأنها تتحكم بشكل أعمى في رموز من دون أدنى فهم لما تعنيه.

تصـــور أنك تجلـــس ضمن صندوق وأنك لا تفهـــم أي كلمة صينية. افترض أن يكون لديك كتاب يسمح لك بأن تترجم من الصينية بسرعة وأن تتحكم بأحرفها. لو ســـألك شـــخص ســـؤالا بالصينية فإنك تلعب فقط بهذه الرموز غريبة الشـــكل من دون إدراك ما تعنيه وتعطي أجوبة موثوقا بها.

يتمحـــور فحوى انتقاد ســـيرل إلـــى التفريق بين بنـــاء الجملة وبين دلالة الألفاظ. يمكن للروبوتات أن تتقن بناء الجمل (على ســـبيل المثال، التحكم في قواعدها وبنيتها الأساســـية... إلخ) لكن ليس دلالة ألفاظها الحقيقية. (ما تعنيه الكلمات على ســـبيل المثـــال). يمكن للروبوتات أن تتحكم في الكلمات من دون أن تفهم ما تعنيه. (يشبه هذا بعض الشيء التحـــدث على الهاتف إلى آلة لإعطاء رســـالة صوتية آليا، حيث عليك أن تضغـــط على «واحد»، «اثنين»... إلخ لكل اســـتجابة. فالصوت على الطـــرف الآخر قادر تماما على هضم اســـتجابتك الرقمية لكنه عاجز تماما عن الفهم).

يعتقـــد الفيزيائـــي روجـــر بينـــروز من أكســـفورد أيضـــا أن الذكاء الاصطناعـــي مســـتحيل. فالكائنـــات الميكانيكية التي يمكنهـــا أن تفكر وتمتلك الوعي الإنســـاني مستحيلة وفق قوانين نظرية الكوانتم. فالعقل البشـــري، كما يدّعي، أرقى بكثير من أي شيء يمكن صنعه في المختبر،

بحيث إن خلق روبوتات شبيهة بالبشر تجربة مصيرها الفشل. (يحاجج بأن الطريقة نفسها التي برهنت فيها نظرية غودل على عدم الكمال الرياضي، فسوف يبرهن مبدأ عدم التأكد لهايزنبرغ عدم قدرة الآلات على التفكير البشري).

يعتقد العديد من الفيزيائيين والمهندسين أنه لا يوجد في قوانين الفيزياء ما يمنع من خلق روبوت حقيقي. على سبيل المثال، سئل كلود شانون، الذي غالبا ما لقب بأبي نظرية المعلوماتية، مرة «هل تستطيع الآلات التفكير»؟ كان جوابه «نعم بالتأكيد». وعندما طلب منه أن يوضح هذا التصريح قال «أنا أفكر، أليس كذلك؟» وبعبارة أخرى كان من الواضح بالنسبة إليه أنه يمكن للآلات أن تفكر لأن البشر عبارة عن آلات (ولو أنها آلات مصنوعة من مادة رطبة وليس من مادة صلبة).

ولأننا نرى روبوتات مصورة في الأفلام، فقد نعتقد أن تطوير روبوتات راقية بذكاء اصطناعي قريب منا. لكن الواقع مختلف جدا. وعندما ترى روبوتا يتصرف كإنسان فهناك غالبا حيلة ما في الأمر، أي إنسان مختفٍ يتكلم من خلال الروبوت بواسطة الميكروفون، مثل الساحر في فيلم «ساحر أوز». وفي الحقيقة فإن روبوتاتنا الأكثر تطورا مثل روبوت روفر على كوكب المريخ تمتلك ذكاء حشرة. وفي مختبر الذكاء الاصطناعي الشهير في الـ MIT تجد الروبوتات التجريبية صعوبة في تقليد إنجازات يمكن حتى للصراصير أن تقوم بها، مثل التحرك في غرفة مملوءة بالمفروشات والعثور على أماكن للاختباء والتعرف على الخطر. ولا يمكن لأي روبوت على وجه الأرض أن يفهم قصة أطفال بسيطة تقرأ عليه.

وفي فيلم «2001: أوديسة الفضاء»، افترض بشكل خاطئ أننا بحلول العام 2001 سنمتلك هال (HAL). وهو الروبوت الفائق الذي يمكنه قيادة سفينة فضائية إلى المشتري، وأن يتكلم مع ملاحي السفينة وأن يحل المشاكل وأن يتصرف مثل إنسان تقريبا.

الاتجاه من الأعلى للأسفل

هناك مشكلتان رئيستان على الأقل واجههما العلماء منذ عقود أعاقت جهودهم لصنع الروبوتات وهما: التعرف على الشكل والإدراك السليم. فالروبوتات ترى أفضل منا بكثير، لكنها لا تفهم ما تراه. ويمكن للروبوتات أيضا أن تسمع أفضل منا بكثير لكنها لا تفهم ما تسمعه.

ولمعالجة هاتين المشكلتين حاول الباحثون استخدام «المنهج من الأعلى إلى الأسفل» للذكاء الاصطناعي (يدعى أحيانا مدرسة «الشكليون» أو GOFAL (*) «الذكاء الاصطناعي من الطراز القديم»). كان هدفهم برمجة قوانين التعرف على الشكل والإدراك السليم جميعها من قرص مدمج واحد. وكما يعتقدون، فإن إدخال هذا القرص في حاسوب سيجعله يحس فجأة بذاته وسيحصل فورا على ذكاء بشري. حصل تقدم كبير في هذا المجال في الخمسينيات والستينيات عن طريق صنع روبوتات يمكنها لعب الشطرنج وحل مسائل في الجبر والتقاط مكعبات وما شابه ذلك. كان التقدم مبهرا جدا بحيث تنبأ البعض بأن الروبوتات ستتجاوز البشر في الذكاء في بضع سنوات.

وعلى سبيل المثال، أثار الروبوت شاري في معهد ستانفورد للبحث العلمي ضجة إعلامية كبيرة في العام 1969. كان شاري حاسوبا صغيرا وضع على مجموعة من العجلات وحمل آلة تصوير في أعلاه. كانت آلة التصوير قادرة على مسح غرفة، ومن ثم يقوم الحاسوب بتحليل الأجسام الموجودة في الغرفة والتعرف عليها ويحاول السير بينها. كان شاري أول آلي ميكانيكي يمكنه الملاحة في «العالم الواقعي»، مما حرّض الصحافيين على التخمين حول الوقت الذي سيسبق فيه الحاسوب البشر ويتجاوزهم.

لكن عيوب هذه الروبوتات بدأت تتضح سريعا. لقد أنتج الاتجاه من الأعلى إلى الأسفل للذكاء الصناعي روبوتات ضخمة وثقيلة استغرقت ساعات للتنقل ضمن غرفة خاصة تحوي أجساما ذات حدود مستقيمة

(*) Good old-Fashioned AI

فقط على شكل مربعات ومستطيلات. ولو وضع أثاث من دون شكل محدد في الغرفة فسيعجز الروبوت عن التعرف عليه. (للمفارقة يمكن لذبابة فاكهة بدماغ يحوي نحو 250 ألف عصبون فقط، وتتمتع بجزء من القدرة الحاسوبية لهذه الروبوتات أن تتنقل بيسر في الأبعاد الثلاثة، منفذة مناورات مدهشة، بينما تضيع هذه الروبوتات الثقيلة المتعثرة في بعدين فقط).

وسرعان ما ارتطم الاتجاه من الأعلى إلى الأسفل بحائط صلب. يقول ستيف غراند، مدير معهد الحياة السيبرانية[3] (*): «لقد توافر لاتجاهات كهذه 50 عاما لتثبت ذاتها، لكنها لم تستطع أن تحقق ما وعدت به».

لم يقدّر العلماء في الستينيات ضخامة العمل الذي تتطلبه برمجة الروبوتات لإنجاز حتى الأعمال البسيطة، كبرمجة الروبوت للتعرف على أجسام كالمفاتيح والأحذية والكؤوس. وكما قال رودني بروك من الـ MIT، «منذ أربعين عاما عيّن مختبر الذكاء الاصطناعي في الـ MIT خريجا حديثا ليحل المشكلة خلال العطلة الصيفية. لقد فشل وفشلت أنا كذلك في العمل على المشكلة ذاتها في أطروحتي للدكتوراه في العام 1981»[4]. وفي الحقيقة، مازال باحثو الذكاء الاصطناعي غير قادرين على حل هذه المشكلة.

على سبيل المثال، عندما ندخل غرفة نتعرف مباشرة على الأرض والأثاث والطاولات وما شابه ذلك. لكن عندما يمسح روبوت غرفة فإنه لا يرى شيئا سوى مجموعة ضخمة من الخطوط المستقيمة والمنحنية التي يحولها إلى نقاط (pixels). ويستغرق الأمر قدرا كبيرا من وقت الحاسوب لتشكيل شيء معقول من هذه الغابة من الخطوط. قد يتطلب الأمر منا جزءا من الثانية للتعرف على طاولة، لكن الحاسوب يرى فقط مجموعة من الدوائر والأشكال البيضاوية والحلزونية والخطوط المستقيمة والمنحنية والزوايا وما شابه. وبعد قدر كبير من زمن الحاسوب قد يتعرف في النهاية على الجسم على أنه طاولة. لكن لو أدرت الصورة فعلى الحاسوب أن يبدأ

(*) Cyberlife Institute

مـــرة أخرى من جديد. وبعبـــارة أخرى، يمكن للروبـــوت أن يرى، وبالفعل فهو يرى أفضل من البشـــر، لكنه لا يعي مـــا يراه. وعندما يدخل الروبوت إلى غرفة فإنه يرى غابة من الخطوط والمنحنيات فقط، ولا يرى كراســـي وطاولات ومصابيح.

تدرك عقولنا الأجسام بشـــكل عفوي بإجراء تريليونات التريليونات من الحســـابات عندما ندخل غرفة - وهي عملية لا نشـــعر بها لحسن حظنا. ويعود السبب في عدم إحساسنا بما يقوم به دماغنا إلى التطور. لو كنا لوحدنا في غابة مع نمر حاد الأســـنان يهاجمنا فسنشـــلّ لو كنا نعي الحســـابات الضرورية لإدراك الخطر والهرب. ولذا من الضروري لبقائنا أن نعرف كيف نهرب. وعندما عاش الإنسان في الغابة لم يحتاج ببســـاطة إلى أن يعي بكل ما يدخل إلى دماغه ويخرج منه للتعرف على السماء والأشجار والصخور وما إلى هنالك.

وبعبـــارة أخرى، يمكن مقارنة الطريقة التي يعمل بها دماغنا بجبل ضخم مـــن الثلج الطافي. نعي فقط قمة الجبـــل، وهي بمنزلة العقل الواعي. لكن تحت ســـطح المـــاء وبعيدا عن أعيننا هناك شـــيء أكبر بكثير، وهو العقل اللاواعي، الذي يســـتهلك قـــدرا كبيرا من «القدرة الحاسوبية» للدماغ لفهم الأشياء البسيطة حوله مثل معرفة أين تكون ومع من تتكلم وما الذي يحيط بك. ويتم هذا كله آليا من دون إذننا أو حتى معرفتنا.

وهذا هو ســـبب عدم قدرة الروبوتات على التنقل عبر الغرفة أو قـــراءة خط اليد أو قيادة الشـــاحنات والســـيارات أو جمع النفايات ومـــا إلى هنالك. لقـــد صرف الجيش الأمريكي مئـــات الملايين من الدولارات وهو يحاول تطويـــر جنود ميكانيكيين وآليات ذكية، ولكن من دون أي نجاح.

بدأ العلماء يدركون أن لعب الشطرنج أو ضرب أرقام ضخمة بعضها ببعـــض يتطلب جزءا ضئيـــلا فقط من الذكاء البشـــري. وعندما تغلب حاســـوب الـ IBM ديب بلو (Deep Blue) على بطل الشـــطرنج العالمي غاري كاســـباروف في مباراة من ســـت مراحل في العـــام 1997، كان

ذلك نصرا للقوة الحاسوبية الخام، لكن التجربة لم تخبرنا شيئا حول الذكاء أو الوعي، على الرغم من أن المباراة احتلّت عناوين العديد من وسائل الإعلام. وكما قال عالم الحاسوب في جامعة إنديانا، دوغلاس هوفشتادتر: «يا إلهي، اعتقدت فيما مضى أن الشطرنج يحتاج إلى تفكير. لكنني أعلم الآن أنه لا يتطلب ذلك. إن هذا لا يعني أن كاسباروف لم يكن عميق التفكير[5]، بل يعني أنه في إمكانك تجاوز التفكير العميق في لعب الشطرنج بالطريقة نفسها التي يمكنك فيها الطيران من دون أن ترفرف بجناحيك».

(سيكون للتطور في الحاسوب أيضا تأثير كبير جدا على مستقبل سوق الوظائف. ويراهن المستقبليون أحيانا بأن الأشخاص الوحيدين الذين سيحصلون على الوظائف في المستقبل سيكونون علماء وتقنيين يتمتعون بمهارات عالية في الحاسوب. لكن في الحقيقة، سيكون لعاملين مثل رجال الإطفاء والشرطة ورجال التنظيف وعمال البناء وآخرين وظائف في المستقبل أيضا، لأن ما يقومون به يحتوي على تعرف على نماذج. فكل جريمة وقطعة نفايات وآلة ونار مشتعلة تختلف عن الأخرى، وبالتالي لا يمكن إدارتها بالروبوتات. وللمفارقة فقد يفقد خريجو الكليات كالمحاسبين منخفضي المستوى والسماسرة ومحاسبي الصناديق وظائفهم في المستقبل، لأن عملهم شبه روتيني ويشمل تتبع أرقام فقط، وهي وظائف يتفوق فيها الحاسوب).

إضافة إلى مشكلة التعرف على النماذج، فإن المشكلة الثانية الأهم بالنسبة إلى تطوير الروبوتات هي افتقارها إلى «الإدراك السليم». على سبيل المثال يعرف البشر أن:

- الماء رطب.
- الأمهات أكبر من أبنائهن.
- لا تحب الحيوانات الألم.
- لا يمكنك العودة إلى الحياة بعد الموت.
- يمكن للخيوط أن تشد لا أن تدفع.

- يمكن للعصي أن تدفع لا أن تشد.
- لا يمكن للزمن أن يرجع إلى الوراء.

لكن لا يوجد سطر في التكامل والتفاضل أو في الرياضيات عامة يمكنه التعبير عن هذه الحقائق. إننا نعرف هذه الحقائق جميعها لأننا رأينا الحيوانات والماء والخيوط واكتشفنا هذه الحقائق بأنفسنا. إن الأطفال يتعلمون «الإدراك السليم» عن طريق ارتطامهم بالواقع. تعرف القوانين البديهية في علم الأحياء والفيزياء بالطريقة الصعبة، وهي التفاعل مع العالم الواقعي. لكن الروبوتات لا تختبر ذلك. إنها تعرف فقط ما برمجت عليه مسبقا.

(ونتيجة لذلك، ستشمل الوظائف في المستقبل أيضا تلك الوظائف التي تتطلب الإدراك السليم، كالإبداع الفني والأصالة وفن التمثيل والتحليل وفن التسلية والإضحاك والقيادة. هذه هي بالضبط الصفات التي تميزنا كبشر، والتي من الصعب على الحواسب تقليدها).

حاول الرياضيون في الماضي إصدار برنامج يمكنه جمع قوانين الإدراك السليم جميعها مرة وللأبد. كانت أكثر المحاولات طموحا هي CYC (مصطلح مختصر لموسوعة encyclopedia)، وهي من بنات أفكار دوغلاس لينيت، رئيس مجموعة سيكورب. ومثل مشروع مانهاتن، الذي بنى القنبلة الذرية بتكلفة ملياري دولار، قصد من مشروع CYC أن يكون «مانهاتن الذكاء الاصطناعي»، والمحاولة الأخيرة التي ستحقق الذكاء الاصطناعي الحقيقي.

ليس من المستغرب أن يكون شعار لينيت هو أن الذكاء يتألف من 10 ملايين قاعدة[6]. (للينيت طريقة مبتكرة للعثور على قوانين جديدة للإدراك السليم: كان يجعل فريقه يقرأ صفحة الفضائح والنميمة في الصحف الشعبية، ثم يسأل CYC إذا كانت قادرة على إيجاد أخطاء فيها). في الحقيقة، لو نجح لينيت في ذلك فقد تكون الـ CYC حقا أكثر ذكاء من معظم قراء الصحف الشعبية!

إن أحد أهداف الـ CYC هو الوصول إلى «نقطة التعادل» (Break even). أي إلى النقطة التي يستطيع عندها الروبوت فهم ما يكفي

بحيث يســتطيع استيعاب معلومات جديدة بنفســه ببساطة عن طريق قــراءة المجلات والكتب الموجودة في المكتبة. عند هذه النقطة ســتكون الـ CYC مثل عصفور صغير يغادر عشــه قــادر على تحريك جناحيه والإقلاع لوحده.

لكن مصداقية الشــركة عانت منذ تأسيســها، في العــام 1984، من مشكلة عامة بالنسبة إلى الذكاء الاصطناعي: إعطاء تنبؤات تولّد عناوين بارزة لكنها غير واقعية تماما. تنبأ لينيت أنه بعد عشــر ســنوات، وبحلول العام 1994، ســتحتوي الـ CYC على 30 إلى 50 في المائة من «الحقيقة المتفق عليها». لكن الـ CYC اليوم ليست قريبة حتى من هذه النقطة. وكما وجد علماء ســيكورب، يجب برمجة الملايين والملايين من خطوط التشفير من أجل أن يقترب الحاســوب من الإدراك الســليم لطفل في الرابعة من العمر. وإلى الآن، تحتوي النســخة الأحدث من برنامج CYC نحو 47 ألف مبدأ و306 آلاف حقيقة فقط. وعلى الرغم من نشــرات أخبار سيكورب المنتظمــة والمتفائلة، فقــد نقل عن آر. في. غوها أحد مســاعدي لينيت، الذي تــرك الفريق في العام 1994 قوله: «ينظــر إلى CYC عموما على أنه مشروع فاشل... لقد قتلنا أنفسنا ونحن نحاول خلق طيف باهت[7] لما وعدنا به مسبقا».

وبعبارة أخرى، فشلت محاولات برمجة قواعد الإدراك السليم جميعها في حاسوب واحد، ببساطة لوجود قواعد كثيرة للإدراك السليم. إن البشر يتعلمون هذه القوعد من دون عناء، لأننا نســتمر بالاصطدام بالبيئة بقوة خــلال حياتنا، وبالتالــي نتمثل قوانين الفيزياء وعلــم الأحياء ببطء. لكن الروبوتات لا تفعل ذلك.

يعتــرف بيل غيتس مؤســس مايكروســوفت بأن: «تمكين الحواســب والروبوتات من الإحساس بيئتها المحيطة بها والتفاعل بسرعة ودقة معها أصعب من المتوقع... على ســبيل المثال، القدرة على تموضعها بالنســبة إلى الأجســام في غرفة والاستجابة للأصوات وتفسير الخطاب والتقاط الأجســام بحجوم وبنية وصلابة مختلفة. حتى شيء بسيط كالتفريق بين باب مفتوح ونافذة يمكن أن يكون صعبا جدا بالنسبة إلى روبوت»[8].

ومــع ذلك يشــير مؤيدو الاتجاه من الأعلى إلى الأســفل في الذكاء الاصطناعــي إلى أن التقدم في هــذا الاتجاه على الرغم من أنه تجمد في بعض الأحيان، فإنه يســتمر في المختبرات حول العالم. وعلى سبيل المثال، أعلنت وكالة مشــاريع بحوث الدفــاع المتقدمة (DARPA) التي غالبا ما تمول مشــاريع تقنية متقدمة عن جائزة مقدارها مليونا دولار في الســنوات القليلة الســابقة لمن يصنع عربة من دون ســائق يمكنها الملاحة بنفسها حول سطح خشن في صحراء موهافي. لكن لم يستطع أي متنافس في ســباق تحدي DARPA الكبيــر في العام 2004 إنهاء الســباق. وفي الحقيقة استطاعت السيارة الأولى في السباق أن تقطع 7.4 ميــل قبل أن تتوقف. لكن سْــيارة الســباق من دون ســائق لفريق ســتانفورد قطعت مسار الـ 132 ميلا الصعب في العام 2005 بنجاح. (على الرغم من أن هذا استغرق من السيارة 7 ساعات). كما استطاعت أربع ســيارات أخــرى إتمام الســباق. (لاحظ بعض النقــاد أن قواعد الســباق سمحت للسيارات أن تســتخدم أنظمة الملاحة بالـ GPS على طريق طويــل مهجور. وفي الحقيقة، يمكن للســيارات أن تتبع خريطة طرق مقرة مســبقا من دون أي إعاقات، بحيث لا يجب على الســيارات ألا تتعــرف مطلقا على عوائــق معقدة في طريقها. أما في الســواقة الحقيقية، فعلى الســيارات أن تتنقل بشــكل غير متوقع حول سيارات أخرى ومشاة ومواقع بناء وطوابير سيارات وما إلى ذلك).

يتفــاءل بيل غيتس بحذر بأن الآلات الروبوتية ســتصبح «الشــيء الأكبر التالي». ويشــبّه غيتس حقل الروبوتات اليوم بالحاســوب الشــخصي، الذي ســاعد على إطلاقه منذ ثلاثين عاما. وكالحاســوب الشــخصي فقد تكون الروبوتات على وشــك الانطلاق. وكما كتب: «لا يســتطيع أحد أن يؤكد متى ســتحقق هذه الصناعة الحجم الحرج أو إذا كانت ســتفعل ذلك[9]، ولو فعلت ذلك فقد تُغيّر العالم».

(عندما تصل الروبوتات إلى ذكاء قريب من ذكاء الإنســان، فسيكون هناك ســوق ضخم لها. وعلى الرغم مــن أن الروبوتات الحقيقية غير متوافــرة حتى الآن فإن الروبوتات المبرمجة موجودة ومنتشــرة. ويقدّر

الاتحاد الدولـي للروبوتات أن هناك نحو مليونـين من هذه الروبوتات الشـخصية في العام 2004، وسـتركب 7 ملايين روبوت أخرى بحلول العـام 2008. وتتنبـأ رابطة الروبوتـات اليابانية بـأن تصل صناعة الروبوتات الشـخصية التي تقدر حتى الآن بـ 5 مليارات دولار إلى 50 مليون دولار في العام).

الاتجاه من الأسفل إلى الأعلى

بسبب القيود على الاتجاه من الأعلى إلى الأسفل للذكاء الاصطناعي فقد أجريت محاولات لاسـتخدام الاتجاه من الأسـفل إلى الأعلى بدلا منـه، أي بتقليـد عمليـة التطور والطريقـة التي يتعلم بهـا الأطفال. فالحشرات، على سبيل المثال، لا تتنقل بمسح بيئتها وتحليل الصورة إلى تريليونات التريليونات من البيكسـلات التي تعالج بحاسـبات عملاقة. وبدلا من ذلك فأدمغة الحشـرات مؤلفة من «شـبكة عصبونية»، وهي آلات تتعلم ببطء كيف تتنقل في عالم معاد بالارتطام به. وفي الـ MIT كان مـن الصعب صنع روبوتات متحركة من خـلال الاتجاه من الأعلى إلى الأسـفل. لكن المخلوقات الميكانيكية البسيطة الشبيهة بالبق، والتي ترتطم بالبيئة وتتعلم من لا شـيء، يمكنهـا بنجاح أن تتنقل حول أرض معهد الـ MIT خلال دقائق.

أصبح رودنـي بروكس، مدير مختبر الذكاء الاصطناعي الشـهير في الـ MIT، المعروف بروباتته الضخمة، المتحركة «من الأعلى إلى الأسـفل» مهرطقـا عندمـا اختبر فكـرة روبوتات صغيرة «حشـرية» تتعلم المشـي بالطريقة القديمة نفسها، بالتعثر والارتطام بالأشياء. وبدلا من استخدام برمجيات حاسـوبية معقدة لحساب الموقع الدقيق رياضيا لأقدامها بينما هي تمشـي، تسـتخدم حشـراته الآلية التجربة والخطأ لتنسيق حركات قدميها باسـتخدام القليل من القدرة الحاسوبية. واليوم يوجد العديد من نسـل الروبوتات الحشـرية لبروك على المريخ تقوم بجمع البيانات لوكالة ناسـا وتتنقل عبـر أرض المريخ المقفرة بفعل دماغهـا. ويعتقد بروكس أن حشراته الآلية مثالية لاكتشاف النظام الشمسي.

كان COG أحد مشـــاريع بروكس. وهو محاولة لصنع روبوت ميكانيكي بذكاء طفل في شهره السادس. يبدو COG من الخارج ككتلة من الأسلاك والدارات والمسننات، ما عدا أن لديه رأسا وعينين وذراعين. لم تبرمج فيه أي قوانين للذكاء. وبدلا من ذلك فقد صمم ليركّز عينيه على مدرب بشري يحـــاول أن يعلمه المهارات. (راهنت إحدى الباحثات التي كانت حاملا على من يتعلم أســـرع، هل هو COG أو طفلها حين يصبح عمره ســـنتين. وقد تفوق الطفل على COG بكثير).

على الرغم من النجاحات في تقليد تصرف الحشـــرات، فقد عملت الروبوتات التي تستخدم الشبكات العصبونية بشكل سيئ عندما حاول مبرمجها أن ينسخ فيها تصرف الأحياء الأرقى مثل الثدييات. ويستطيع الروبوت الأكثر تقدما، باســـتخدام الشـــبكة العصبونية، أن يمشي عبر الغرفة أو يســـبح في الماء، لكنه لايســـتطيع القفـــز أو الصيد مثل كلب فـــي الغابة أو التنقل خلال الغرفة كالفـــأر. يتألف العديد من روبوتات الشـــبكات العصبونية الكبيرة من عشـــرات إلى ربما مئات العصبونات، لكن العقل البشـــري يحوي أكثر من 100 مليـــار عصبون. تمتلك دودة C.elegans وهي دودة بســـيطة جدا خطط جهازهـــا العصبي بالكامل مـــن قبل علماء الحياة أكثر من 300 عصبون في جهازها العصبي مما يجعله أحد أبســـط الأجهزة العصبية الموجودة في الطبيعة. لكن هناك أكثر من 7 آلاف synapses وصلة بين هذه العصبونات. ومع كل بساطة دودة الـ «ســـي. إليغنس» C.elegans، فإن جهازها العصبي معقد جدا بحيث لـم يســـتطـع أحـد بنـاء نمـوذج حاســـوبي لعقلهـــا. (تنبأ أحد خبراء الحاســـوب فـــي العام 1988 أننا يجـب أن نمتلك الآن روبوتـات بـ 100 مليون عصبون صناعي. في الواقع، فإن شبكة عصبونية بـ 100 عصبون تعتبر استثنائية).

والمفارقـــة الأكبر هـــي أن الآلات يمكنها من دون جهـــد أن تؤدي مهام يعتبرها البشـــر «صعبة»، مثل ضرب أعداد كبيرة أو لعب الشطرنج، لكنها تتعثـــر بقـــوة عندما يطلب منها أن تؤدي مهمات «ســـهلة» للغاية بالنســـبة إلى البشـــر، مثل التجول عبر الغرفة أو التعرف على وجوه أو النميمة مع

صديق. ويعود السبب في ذلك إلى أن أكثر الحاسبات تقدما هي أساسا مجرد آلات جمع. بيد أن عقولنا مصممة بشكل ذكي بالتطور لحل مشاكل أرضية من أجل البقاء، والتي تتطلب بنية معقدة من التفكير، مثل الإدراك السليم والتعرف على النماذج. إن البقاء في غابة لم يعتمد على حساب التفاضل أو لعب الشطرنج للهرب من الحيوانات المفترسة أو العثور على الأصدقاء أو التأقلم مع بيئة جديدة.

يلخص مارفين مينسكي أحد المؤسسين الأوائل للذكاء الاصطناعي من الـ MIT مشاكل الذكاء الاصطناعي بهذه الطريقة: «إن تاريخ الذكاء الاصطناعي مضحك لأن الإنجازات الأولى الحقيقية كانت أشياء جميلة مثل آلة تستطيع البرهان في المنطق أو تقوم بعمل جيد في علم التفاضل. لكننا بعد ذلك بدأنا نحاول صنع آلات يمكنها الإجابة عن أسئلة حول الأنواع البسيطة من القصص الموجودة في كتاب الصف الأول. لا توجد آلة اليوم تستطيع أن تفعل ذلك»[10].

يعتقد البعض أن تفاعلا عظيما بين الاتجاهين، الاتجاه من الأعلى إلى الأسفل والاتجاه من الأسفل إلى الأعلى، سيتم في النهاية، وقد يقدم الحل للذكاء الاصطناعي وروبوتات شبيهة بالبشر. فبعد كل شيء، عندما يتعلم الطفل فإنه على الرغم من أنه يعتمد أساسا في البداية على الاتجاه من الأسفل إلى الأعلى، بالارتطام بالأشياء من حوله، بيد أنه في النهاية يتلقى التعليمات من أبويه ومن الكتب ومن معلمي المدرسة ويتعلم بالاتجاه من الأعلى للأسفل. وكبالغين، نمزج دوما بين هذين الاتجاهين. فالطاهي على سبيل المثال يقرأ من إرشادات الطبخ، لكنه دوما يتذوق الطعام الذي يقوم بطهيه.

يقول هانز مورافيك: «ستنتج الآلات الذكية تماما[11] عندما يدار المشبك الميكانيكي الذهبي موحدا الاتجاهين» ربما خلال الأربعين سنة القادمة.

روبوتات عاطفية؟

يتعلق أحد المواضيع الدائمة في الفن والأدب بالكائن الميكانيكي الذي يحنّ ليصبح بشرا، ليشارك في العواطف الإنسانية. ولعدم اقتناعه بأن

يكـــون مصنوعا من الأســـلاك والفولاذ البارد فإنـــه يرغب في أن يضحك ويبكي ويحس بالمتع العاطفية لبني البشر كلهم.

وعلـــى ســـبيل المثال، كان بينوكيـــو الدمية التي تريـــد أن تصبح صبيا حقيقيا. وأراد الرجل القصديري في فيلم «ســـاحر أوز» أن يكون له قلب. وكان داتا في مسلســـل ســـتار ترك روبوتا يتفوق على البشـــر جميعهم في القوة والذكاء، ومع ذلك كان يتحرق شوقا ليصبح رجلا.

لقـــد ذهب البعض إلى أن عواطفنا تمثل أعلى خاصة من خواص كوننا بشـــرا. فلـــن يمكن لأي آلة أن تســـتمتع بغياب الشـــمس أو تضحك لنكتة مضحكة كمـــا يدعون. ويقول البعض إن من المســـتحيل للآلات أن تمتلك عواطف، لأن العواطف تمثل قمة التطور البشري.

لكن العلماء الذين يعملون على الذكاء الاصطناعي ويحاولون تحليل العواطف يعطون صـــورة مختلفة تماما. بالنســـبة إليهم فإن العواطف أبعد من أن تكون فحوى البشرية، فهي في الحقيقة ناتج ثانوي للتطور. وببســـاطة، فالعواطف أمر جيد بالنسبة إلينا. لقد ساعدتنا على البقاء علـــى قيد الحيـــاة في الغابة، وهـــي حتى اليوم تســـاعدنا في مواجهة مخاطر الحياة.

وعلى سبيل المثال، فإن «حب» شيء مهم جدا تطوريا، لأن معظم الأشياء ضارة بنا. ومن بين ملايين الأشـــياء التـــي نصادفها يوميا فإن حفنة فقط منها مفيدة لنا. وبالتالي فإن «حب» شـــيء هو إجراء تمييز بين شـــيء من الجزء الضئيل من الأشـــياء التي يمكنها مســـاعدتنا مقابل ملايين الأشياء التي يمكن أن تؤذينا.

وبالمثـــل، فالغيرة عاطفة مهمة، لأن نجاح التناســـل ضروري في تحقيق بقاء جيناتنا على قيد الحياة للجيل التالي. (في الحقيقة، فإن هذا هو سبب وجود العديد من المشاعر المشحونة عاطفيا التي تتعلق بالجنس والحب).

والخجـــل والتأنيـــب ضروريان لأنهما يســـاعداننا علـــى تعلم المهارات الاجتماعيـــة اللازمة للعمل فـــي مجتمع تعاوني. لو أننا لـــم نقل أبدا إننا آســـفون فســـنطرد في النهاية من القبيلة، مما يقلل من فرصنا في البقاء ونقل جيناتنا.

صديق. ويعود السبب في ذلك إلى أن أكثر الحاسبات تقدما هي أساسا مجرد آلات جمع. بيد أن عقولنا مصممة بشكل ذكي بالتطور لحل مشاكل أرضية من أجل البقاء، والتي تتطلب بنية معقدة من التفكير، مثل الإدراك السليم والتعرف على النماذج. إن البقاء في غابة لم يعتمد على حساب التفاضل أو لعب الشطرنج للهرب من الحيوانات المفترسة أو العثور على الأصدقاء أو التأقلم مع بيئة جديدة.

يلخص مارفين مينسكي أحد المؤسسين الأوائل للذكاء الاصطناعي من الـ MIT مشاكل الذكاء الاصطناعي بهذه الطريقة: «إن تاريخ الذكاء الاصطناعي مضحك لأن الإنجازات الأولى الحقيقية كانت أشياء جميلة مثل آلة تستطيع البرهان في المنطق أو تقوم بعمل جيد في علم التفاضل. لكننا بعد ذلك بدأنا نحاول صنع آلات يمكنها الإجابة عن أسئلة حول الأنواع البسيطة من القصص الموجودة في كتاب الصف الأول. لا توجد آلة اليوم تستطيع أن تفعل ذلك»[10].

يعتقد البعض أن تفاعلا عظيما بين الاتجاهين، الاتجاه من الأعلى إلى الأسفل والاتجاه من الأسفل إلى الأعلى، سيتم في النهاية، وقد يقدم الحل للذكاء الاصطناعي وروبوتات شبيهة بالبشر. فبعد كل شيء، عندما يتعلم الطفل فإنه على الرغم من أنه يعتمد أساسا في البداية على الاتجاه من الأسفل إلى الأعلى، بالارتطام بالأشياء من حوله، بيد أنه في النهاية يتلقى التعليمات من أبويه ومن الكتب ومن معلمي المدرسة ويتعلم بالاتجاه من الأعلى للأسفل. وكبالغين، نمزج دوما بين هذين الاتجاهين. فالطاهي على سبيل المثال يقرأ من إرشادات الطبخ، لكنه دوما يتذوق الطعام الذي يقوم بطهيه.

يقول هانز مورافيك: «ستنتج الآلات الذكية تماما[11] عندما يدار المشبك الميكانيكي الذهبي موحدا الاتجاهين» ربما خلال الأربعين سنة القادمة.

روبوتات عاطفية؟

يتعلق أحد المواضيع الدائمة في الفن والأدب بالكائن الميكانيكي الذي يحنّ ليصبح بشرا، ليشارك في العواطف الإنسانية. ولعدم اقتناعه بأن

يكــون مصنوعا من الأســلاك والفولاذ البارد فإنــه يرغب في أن يضحك ويبكي ويحس بالمتع العاطفية لبني البشر كلهم.

وعلــى ســبيل المثال، كان بينوكيــو الدمية التي تريــد أن تصبح صبيا حقيقيا. وأراد الرجل القصديري في فيلم «ســاحر أوز» أن يكون له قلب. وكان داتا في مسلســل ســتار ترك روبوتا يتفوق على البشــر جميعهم في القوة والذكاء، ومع ذلك كان يتحرق شوقا ليصبح رجلا.

لقــد ذهب البعض إلى أن عواطفنا تمثل أعلى خاصة من خواص كوننا بشــرا. فلــن يمكن لأي آلة أن تســتمتع بغياب الشــمس أو تضحك لنكتة مضحكة كمــا يدعون. ويقول البعض إن من المســتحيل للآلات أن تمتلك عواطف، لأن العواطف تمثل قمة التطور البشري.

لكن العلماء الذين يعملون على الذكاء الاصطناعي ويحاولون تحليل العواطف يعطون صــورة مختلفة تماما. بالنســبة إليهم فإن العواطف أبعد من أن تكون فحوى البشرية، فهي في الحقيقة ناتج ثانوي للتطور. وببســاطة، فالعواطف أمر جيد بالنسبة إلينا. لقد ساعدتنا على البقاء علــى قيد الحيــاة في الغابة، وهــي حتى اليوم تســاعدنا في مواجهة مخاطر الحياة.

وعلى سبيل المثال، فإن «حب» شيء مهم جدا تطوريا، لأن معظم الأشياء ضارة بنا. ومن بين ملايين الأشــياء التــي نصادفها يوميا فإن حفنة فقط منها مفيدة لنا. وبالتالي فإن «حب» شــيء هو إجراء تمييز بين شــيء من الجزء الضئيل من الأشــياء التي يمكنها مســاعدتنا مقابل ملايين الأشياء التي يمكن أن تؤذينا.

وبالمثــل، فالغيرة عاطفة مهمة، لأن نجاح التناســل ضروري في تحقيق بقاء جيناتنا على قيد الحياة للجيل التالي. (في الحقيقة، فإن هذا هو سبب وجود العديد من المشاعر المشحونة عاطفيا التي تتعلق بالجنس والحب).

والخجــل والتأنيــب ضروريان لأنهما يســاعداننا علــى تعلم المهارات الاجتماعيــة اللازمة للعمل فــي مجتمع تعاوني. لو أننا لــم نقل أبدا إننا آســفون فســنطرد في النهاية من القبيلة، مما يقلل من فرصنا في البقاء ونقل جيناتنا.

والشـــعور بالوحدة عاطفة ضرورية أيضا. ويبدو الشعور بالوحدة لأول وهلة غير ضروري ولا أهمية له. إذ يمكننا بعد كل شيء أن نعمل لوحدنا. لكن الحنين لأن نكون مع أصدقائنا ضروري أيضا لبقائنا على قيد الحياة، لأننا نعتمد على إمكانات القبيلة للبقاء.

وبعبارة أخرى، عندما تصبح الروبوتات أكثر تطورا فقد تمتلك هي أيضا عواطف. وربما تبرمج الروبوتات لترتبط عاطفيا مع مالكيها والمعتنين بها للتأكد من أنها لن تنتهي في سـلة المهملات. وستساعد مثل هذه العواطف في تسهيل اندماجها في المجتمع، وبالتالي تكون بمنزلة مرافقين مساعدين بدلا من منافسين لمالكيها.

ويعتقد خبير الحاسوب هانز مورافيك أنه ستبرمج الروبوتات بعواطف مثل «الخوف» لحماية ذاتها. على سـبيل المثـال لو انتهت بطاريات روبوت معين فسيعبر الروبوت عن الاضطراب أو حتى الرعب، وسيعطي إشارات يمكن للبشـر أن يفهموها. وسـيذهب الروبوت إلى الجيران ويطلب إليهم أن يسـتخدم فيش الكهرباء الموجود لديهم ويقول لهم: «رجاء! رجاء! إنني في حاجة إلى هذا! إنه ضروري جدا[12] وبتكلفة قليلة! سأعوضكم عنه!».

والعواطــف مهمة أيضا في عملية اتخاذ القرارات. يفتقر الناس الذين عانـوا نوعا معينا من العطل للدماغ إلى القدرة على الشـعور بالعواطف. فقدرتهم على التفكير سـليمة، لكنهم لا يستطيعون التعبير عن عواطفهم. ويستنتج عالم الأعصاب الدكتور أنتونيو داماسيو من كلية الطب في جامعة أيوا[13]، والـذي درس حالات إصابات الدماغ هـذه: «يبدو أنهم يعرفون، لكنهم لا يشعرون».

يجد الدكتور داماسـيو أن هؤلاء الأفراد غالبا ما يصابون بالشلل عند اتخاذ أبسـط القرارات. ومن دون عواطف توجههم فإنهم يتناقشـون بلا نهايـة حول هـذا الخيار أو ذاك، مما يقودهم فـي النهاية إلى العجز عن اتخاذ قرار. وقد أمضى أحد مرضى الدكتور داماسـيو نصف ساعة وهو يحاول تحديد موعد مقابلته التالية.

يعتقد العلماء أن العواطف تعالج في «الجهاز الليمفاوي» للدماغ والذي يقع عميقا فـي مركز الدماغ. وعندما يعاني النـاس فقدان التواصل بين

قشـــرة الدمـــاغ (neocortex) (التي تتحكم في التفكير الســـليم) والجهاز الليمفـــاوي تكون قدراتهم على التفكير ســـليمة، لكنهم لا يملكون عواطف توجههم في اتخاذ القـــرارات. لدينا في بعض الأحيان «فكرة» أو «تفاعل» يدفـــع عملية اتخاذنا للقرار. ولا يمتلك الناس الذين لديهم عطب يؤثر في الاتصال بين أجزاء التفكير وأجزاء العاطفة في الدماغ هذه المقدرة.

عندما نذهب للتسوق على ســـبيل المثال نتخذ لاشعوريا آلاف الأحكام القيمية حول كل شـــيء نراه تقريبا، مثل «هذا غال جدا أو رخيص جدا أو ملون جدا أو ســـخيف جدا أو أنه جيد». وبالنســـبة إلى أناس لديهم هذا النوع من العطب الدماغي فإن التسوق بالنسبة إليهم كابوس، لأن كل شيء يبدو لهم بالقيمة ذاتها.

ومـــع تقدم ذكاء الروبوتات وقدرتها على إجراء الخيارات لوحدها فقد تصبح بالمثل مشـــلولة بعدم القدرة على اتخاذ القرار. (يذكرنا هذا بقصة الحمـــار الذي يجلس بين حزمتين من القش والـــذي يموت في النهاية من الجـــوع لعدم قدرته على تقرير أي واحدة يأكلها). ومن أجل مســـاعدتها، قـــد تحتاج الروبوتات في المســـتقبل إلى عواطف تربط ســـلكيا بأدمغتها. وتعلق الدكتورة روزاليند بيكارد من مختبر الوسائط في الـ MIT على ذلك بالقول «لا تســـتطيع الروبوتات الإحساس بما هو الأهم. وهذا إحدى أكبر نقائصها. فالحاسبات لا تستطيع الإحساس»[14].

وكما كتب الروائي الروسي فيودور دوستويفسكي: «لو أن كل شيء على الأرض كان منطقيا، لما حدث شيء»[15].

وبعبارة أخـــرى، قد تحتاج الروبوتات في المســـتقبل إلى وضع أهداف لهـــا وأن تعطي معنى وهيكلية لـ «حياتها»، وإلا ســـتجد نفســـها مشـــلولة باحتمالات لا متناهية.

هل الروبوتات واعية؟

لا يوجـــد اتفـــاق عام حول مـــا إذا كان من الممكن لـــلآلات أن تصبح واعية، أو اتفاق حول معنى الوعي نفسه. وإلى الآن لم يتقدم أحد بتعريف مناسب للوعي.

يصف مارفين مينسكي الوعي على أنه «مجتمع من العقول»، أي أن عملية التفكير في دماغنا ليست محلية، لكنها متوزعة بحيث تتنافس المراكز المختلفة بعضها مع بعض في الوقت ذاته. ولذا يمكن النظر إلى الوعي على أنه سلسلة من الأفكار والصور التي تصدر عن هذه «العقول» الأصغر المختلفة، بحيث يتنافس كل منها على جلب انتباهنا.

لو أن هذا صحيح فلربما ضخم موضوع «الوعي»، وربما خصصت أوراق كثيرة جدا لموضوع غلف بالغموض من الفلاسفة والنفسانيين. ربما كان تعريف الوعي ليس بهذه الصعوبة. وكما يقول سيدني برينر من معهد سولك في لاهويا «أتنبأ أنه بحلول العام 2020 – عام الرؤية الجيدة – سيختفي الوعي كمشكلة علمية – وسيدهش من يأتي بعدنا بمقدار الهراء العلمي[16] الذي يناقش اليوم – هذا إذا كان لديهم الصبر الكافي للتنقيب خلال الأرشيف الإلكتروني لمجلات باطلة».

عانى بحث الذكاء الاصطناعي «حسد الفيزياء»، كما يدعي مارفين مينسكي. ففي الفيزياء كانت الكأس المقدسة هي العثور على علاقة رياضية بسيطة توحد القوى الفيزيائية في الكون في نظرية واحدة والمجيء بـ «نظرية كل شيء». حاول باحثو الذكاء الاصطناعي المتأثرون بهذه الفكرة العثور على نموذج وحيد يفسر الوعي. لكن مثل هذا النموذج قد لا يكون موجودا على الإطلاق، كما يقول مينسكي.

(يعتقد معتنقو المدرسة «البنائية» مثلي أنه بدلا من الجدال الذي لا ينتهي فيما إذا كان من الممكن صنع آلات تفكر أم لا، يجب على المرء أن يحاول بناء آلة. وبالنسبة إلى الوعي، فمن المحتمل أن يكون هناك استمرار للوعي من وعي متدن كمقياس حرارة يقيس درجة حرارة الغرفة إلى الكائنات التي تعي ذاتها والتي نمثلها نحن اليوم. قد تكون الحيوانات واعية، لكنها لا تمتلك مستوى الوعي الموجود لدى الإنسان. لذلك على المرء أن يحاول أن يصنف الأنواع والمستويات المختلفة للوعي كلها بدلا من طرح أسئلة فلسفية حول معنى الوعي. قد تحصل الروبوتات في النهاية على «وعي سيليكوني». وفي الحقيقة قد تمتلك الروبوتات يوما ما بنية للتفكير ومعالجة للمعلومات مختلفة عنا.

وقد تهمش الروبوتات المتطورة في المســـتقبل الفارق بين تركيب الجملة (syntax) ودلالاتها (semantics) بحيث لا يمكن تمييز اســـتجاباتها عن اســـتجابات البشر. ولو حصل ذلك فسيصبح السؤال حول ما إذا كانت «تفهم» حقا سؤالا لا معنى له. فالروبوت الذي يمتلك سيطرة تامة على تركيـــب الجملة يفهم عمليا ما يقال. وبعبـــارة أخرى، فإن الإتقان التام لتركيب الجملة هو الفهم).

هل يمكن أن تكون الروبوتات خطرة؟

بســـبب قانون مور الذي ينص على أن قدرة الحاســـوب تتضاعف مرة كل ثمانية عشـــر شـــهرا، فمن المعقـــول أن تصنّع روبوتات خـــلال العقود القليلة القادمـــة تمتلـــك ذكاء كلب أو قطة على ســـبيل المثال. لكن قـــد ينهار قانون مور بحلول العام 2020 وينتهي عصر الســـيليكون. وبالنســـبة إلى الخمسين ســـنة الماضية أو ما يقرب من ذلك، دفع النمو المدهش في القدرة الحاسوبية بصنع ترانزسترات صغيرة من السيليكون يمكن بسهولة وضع عشرات الملايين منها على ظفر إصبعك. وتســـتخدم حزم من الأشـــعة فوق البنفسجية لنقش ترانزستورات ميكروية على شرائح مصنوعة من السيليكون. لكن هذه العملية لا يمكن أن تســـتمر للأبد. ففي النهاية، ســـيصبح حجم هذه الترانزستورات صغيرا جدا بحيث يقارب حجم الجزيئات، وستتوقف هذه العملية. ويمكن أن يصبح وادي الســـيليكون حزام الصـــدأ (Rust Belt) بعد العام 2020 عندما ينتهي عصر السيليكون.

تمتلك شـــريحة البنتيوم في حاسوبك الشخصي طبقة بسمك 20 ذرة. وبحلول عام 2020 قد تتألف شـــريحة البنتيوم هذه من طبقة بســـمك 5 ذرات. وعندهـــا يبدأ مفعول مبدأ عـــدم التأكد لهايزنبرغ ولن تعرف موقع الإلكترون بالضبط. وعندها ستتســـرب الكهرباء من الشـــريحة وسينقطع التيار فيها. وعند هذه المرحلة ســـيصطدم قانون مور والثورة الحاســـوبية بطريق مســـدود بســـبب قوانين نظرية الكوانتم. (ادّعـــى بعض الناس أن الحقبـــة الرقمية هي «انتصـــار للأحرف bits على الـــذرات» لكن عندما نصل في نهاية المطاف إلى نهاية قانون مور فستثأر الذرات لنفسها).

يعمل الفيزيائيون حاليا على تقانة ما بعد السيليكون التي ستسيطر على عالم الحاسوب بعد العام 2020، ولكن بنتائج متباينة حتى الآن. وكما سبق أن رأينا، تدرس تقانات مختلفة قد تحل في النهاية محل تقانة السيليكون، بما في ذلك الحاسبات الكمومية وحاسبات جزيئات الدنا والحاسبات الضوئية والحاسبات الذرية وإلى ما هنالك. لكن تواجه كل واحدة منها عقبات ضخمة قبل أن تستبدل شرائح السيليكون. ولاتزال تقانة التحكم في الذرات والجزيئات المنفردة في بدايتها، لذا فإن صنع مليارات الترانزستورات بحجم الذرات لايزال مستحيلا.

لكن افترض لدقيقة أن الفيزيائيين قادرون على ردم الهوة بين شرائح السيليكون والحواسب الكمومية مثلا. وافترض أن يستمر شكل معين من قانون مور إلى ما بعد حقبة السيليكون. عندها سيصبح الذكاء الاصطناعي احتمالا ممكنا. وعند هذه المرحلة قد تتقن الروبوتات المنطق والعواطف البشرية وتجتاز امتحان تورنغ في كل مرة. استكشف ستيفن سبيلبيرغ هذا السؤال في فيلمه: «الذكاء الاصطناعي» (AI)، حيث صنع أول صبي روبوتي يستطيع إبداء عواطفه، وبالتالي كان مناسبا لعائلة من البشر أن تتبناه.

ويثير هذا السؤال: هل يمكن أن تكون مثل هذه الروبوتات خطرة؟ الجواب هو: من المحتمل أن تكون كذلك. قد تصبح هذه الروبوتات خطرة عندما تمتلك ذكاء قرد يعي ذاته ويمكنه خلق مواضيعه الخاصة. قد يستغرق الأمر عقودا عدة للوصول إلى هذه المرحلة، لذا فلدى العلماء الوقت الكافي لمراقبة الروبوتات قبل أن تشكّل خطرا. وعلى سبيل المثال، يمكن وضع شريحة خاصة في معالجاتها لمنعها من التخريب. أو قد يمتلكون آلية لتدمير الذات أو تخميدها وتوقفها في حالة الطوارئ.

كتب آرثر كلارك: «من الممكن أن نصبح حيوانات تعيش حياة هانئة كالكلاب المدللة للحواسب[17]، لكنني آمل أن نحتفظ دوما بالقدرة على سحب فيش الكهرباء إذا رغبنا في ذلك».

إن الخطـر الأكثر واقعيـة هو اعتمـاد البنية التحتيـة لدينا على الحاسـبات. وتزداد حوسـبة شـبكتي مياهنا وكهربائنا، هذا عدا عن شبكات الاتصال والمواصلات، في المستقبل. لقد أصبحت مدننا معقدة جدا بحيث لا يمكن سـوى للشبكات الحاسوبية المعقدة أن تراقب بنيتنا التحتيـة الكبيرة وأن تتحكم فيها. ويمكن لخطأ في هذه البنية التحتية التي يتحكم فيها الحاسـوب أو توقفها أن يشـل مدينة أو بلدا أو حتى حضارة بأكملها.

هل تتفوق الحواسـب في النهاية علينا في الـذكاء؟ بالتأكيد لا يوجد شيء في قوانين الفيزياء يمنع ذلك. إذا كانت الروبوتات شبكات عصبونية قادرة على التعلم وتتطور إلى مرحلة تسـتطيع عندها التعلم بسرعة أكبر وأكثر كفـاءة منا، فمن المنطقي أنها عندئذ قد تتفـوق علينا في التفكير. يقول مورافيك: «إن [العالم ما بعد الحيوي] هو عالم اجتاح فيه مد التغيّر الثقافي العنصر البشـري، وسـيطرت عليه أجيال من خلائقه... وعندما يحدث ذلك، لن يكون للدنا أي عمل[18]، بعد أن خسـرت السباق التطوري لمصلحة نوع جديد من التنافس».

لقد تنبأ بعض المخترعين، مثل راي كيرزويل، بأن هذه المرحلة سـتأتي قريبا في العقود القليلة المقبلة. ربما نقوم حاليا بصنع خلفائنا في التطور. ويتصور بعض علماء الحاسـوب مرحلة يدعونها «المنفردة (singularity)» عندما تكون الروبوتات قادرة على معالجة المعلومات بشـكل أسـي سريع، خالقة روبوتات جديدة في هـذه العملية، إلى أن تتطور قدرتها الجماعية على استيعاب المعلومات من دون حدود.

لذا دافع البعض عن دمج تقانة الكربون بتقانة السـيليكون على المدى البعيد[19]، بدلا من الانتظار لنهايتنا. فنحن البشـر مؤسسون بشكل رئيس على عنصر الكربون، بينما أسسـت الروبوتات على السيليكون (على الأقل فـي الوقت الحاضـر). وربما كان الحل هو أن نندمج مـع مخلوقاتنا. (لو صادفنا كائنـات من الفضاء الخارجي فيجب ألا ندهـش إذا وجدنا أنها عضوية جزئيا وميكانيكية في الجزء الآخر كي تتحمل متاعب السـفر في الفضاء وتعيش في بيئة معادية).

قد تمنحنا الروبوتات الشبيهة بالإنسان (أو السيبورغات Cyborgs) في المستقبل البعيد[20] هدية الخلود. ويضيف مارفين مينسكي: «ماذا لو خفتت الشمس أو دمرنا كوكبا؟ لماذا لا نصنع رياضيين وفيزيائيين ومهندسين أفضل منا؟ قد نحتاج إلى أن نكون المصممين لمستقبلنا. وإن لم نفعل ذلك فسوف تختفي حضارتنا».

يتخيل مورافيك وقتا في المستقبل البعيد تنقل فيه بنيتنا العصبونية عصبونا فعصبونا مباشرة إلى آلة تعطينا بمعنى ما الخلود. إنه تفكير جموح، لكنه ليس فوق حدود الممكن. ولذا فوفقا لبعض العلماء الذين ينظرون إلى المستقبل البعيد قد يكون الخلود (على شكل أجسام سليكونية أو مطورة بالدنا) هو المستقبل النهائي للبشرية.

إن فكرة صنع آلات مفكرة بذكاء حيوانات على الأقل، وربما بذكائنا أو أذكى منا، يمكن أن تصبح حقيقة لو استطعنا التغلب على انهيار قانون مور ومشكلة الإدراك السليم، ربما في وقت متأخر من هذا القرن. وعلى الرغم من أن القوانين الأساسية للذكاء الاصطناعي لاتزال غير مكتشفة، فإن التطور في هذا المجال يحدث بسرعة كبيرة ويعد بالكثير. وباعتبار هذه الأشياء سأصنف الروبوتات والآلات المفكرة الأخرى على أنها استحالة من الصنف الأول.



8

الكائنات الفضائية والأجسام الغامضة UFOS

«إما أننا وحدنا في الكون، وإما لا. كلتا الفكرتين مخيفة»

آرثر سي. كلارك

تحوم سفينة فضاء عملاقة، تمتد لأميال، فوق مدينة لوس أنجلوس مباشرة، وتملأ السماء بكاملها وتعتّم بشكل خطير على كامل المدينة. وعلى العالم كله، تضع قلاعا على شكل صحون فوق المدن الرئيسة في العالم. ويتجمهر مئات المشاهدين السعداء الراغبين في الترحيب بالكائنات الآتية من كوكب آخر إلى لوس أنجلوس فوق أعلى ناطحة سحاب للاقتراب من ضيوفهم من الفضاء.

«من المعقول الافتراض أننا في وقت ما من هذا القرن سنكون قادرين على اكتشاف إشارة ما من حضارة ما في الفضاء الخارجي، بافتراض وجود مثل هذه الحضارات. وإذا حدث ذلك، فإنه سيمثل علامة فارقة في تاريخ البشرية»

المؤلف

وبعد أيام من التحويم بصمت فوق لوس أنجلوس، يفتح بطن السفينة الفضائية ببطء. وينطلق تيار من أشعة الليزر يحرق ناطحات السحاب، وتطلق موجة من الدمار تنتشر على المدينة بكاملها محولة إياها إلى خراب محترق خلال ثوان.

وفي فيلم «يوم الاستقلال» يمثل الغرباء أعمق مخاوفنا. وفي الفيلم «E.T» نسقط على الغرباء أحلامنا وخيالاتنا. وخلال التاريخ سحر الناس بفكرة كائنات أجنبية تستوطن عالمنا. ومنذ عام 1611 تخيل الفلكي يوهان كيبلر في أطروحته «سومنيوم» (somnium) مستخدما أفضل ما توصل إليه العلم في حينه، رحلة إلى القمر يصادف المرء خلالها غرباء ونباتات وحيوانات غريبة. لكن العلم والدين غالبا ما يصطدمان حول الحياة في الفضاء، وأحيانا بنتائج مأساوية.

وقبل ذلك بسنوات قليلة، في عام 1600، حرق القس الدومينكاي والفيلسوف جيوردانو برونو حيا في شوارع روما. ولإذلاله، علقته الكنيسة رأسا على عقب وعرّته من ملابسه قبل أن تحرقه على سارية. ما الذي جعل تعاليم برونو خطيرة إلى هذا الحد؟ لقد سأل سؤالا بسيطا: هل توجد حياة في الفضاء الخارجي؟ ومثل كوبرنيكوس، فقد اعتقد أن الأرض تدور حول الشمس، لكنه على النقيض من كوبرنيكوس اعتقد أن من الممكن وجود أعداد لا حصر لها من المخلوقات التي تشبهنا تعيش في الفضاء الخارجي. (كان حرقه أكثر ملاءمة للكنيسة من تحمل فكرة وجود مليارات القديسين والبابوات والكنائس والسيد المسيح في الفضاء الخارجي).

بقيت ذكرى حرق برونو تؤرق مؤرخي العلم لأربعمائة عام. لكن برونو ينتقم الآن كل عدة أسابيع. ففي حوالي مرتين كل شهر يكتشف كوكب خارج المجموعة الشمسية يدور حول نجم في الفضاء. وقد سجل أكثر من 250 كوكبا تدور حول نجوم أخرى غير الشمس في الفضاء. لقد تحققت نبوءة برونو بوجود كواكب خارج المجموعة الشمسية. لكن بقي سؤال واحد معلق. على الرغم من أن مجرة درب التبانة تزدحم بكواكب غير شمسية، كم منها يمكن أن تدعم وجود حياة؟ وإذا كانت الحياة العاقلة موجودة في الفضاء، ماذا يمكن للعلم أن يقول حول ذلك؟

وبالطبع أدهشت اللقاءات الافتراضية مع كائنات فضائية المجتمع، وأثارت القراء ومشاهدي الأفلام لأجيال. وقعت الحادثة الأكثر شهرة في 30 أكتوبر من العام 1938، عندما قرر أورسون ويلز أن يلعب حيلة هالوين (عيد القديسين) على الجمهور الأمريكي. أخذ العقدة الرئيسة لرواية إتش. جي. ويلز «حرب العوالم» وأجرى سلسلة من الإعلانات الإخبارية القصيرة على راديو سي. بي. إس CBS الوطني مقاطعا الموسيقى الراقصة ليعلن ساعة بعد أخرى اجتياح الأرض من قبل سكان المريخ والانهيار التالي للحضارة. أثار هذا الرعب في ملايين الأمريكيين حول «الأخبار» أن آلات من المريخ هبطت في غروفر ميل في نيوجرسي، وأطلقت أشعة مميتة لتدمير مدن بكاملها والسيطرة على العالم. (سجلت الصحف بعد ذلك إخلاء فوريا، حين هجر السكان تلك المناطق وادّعى شهود عيان أنهم استطاعوا شم غاز سام ورأوا ومضات من الضوء تنطلق من مسافات بعيدة).

وصل الانبهار بالمريخ إلى ذروته مرة أخرى في الخمسينيات، عندما لاحظ الفلكيون علامة غريبة على المريخ تشبه حرف M ضخم بقطر مئات الأميال. لاحظ المعلقون أن M ربما عنت كلمة «المريخ Mars»، وأن سكان المريخ كانوا يعطون إشارات على وجودهم إلى سكان الأرض، مثل المشجعين الذين يشيرون إلى اسم فريقهم في ملعب لكرة القدم. (لاحظ آخرون بتشاؤم أن الإشارة M كانت W في الحقيقة وأن هذا الحرف يعني «الحرب» (WAR). وبعبارة أخرى كان سكان المريخ يعلنون الحرب على كوكب الأرض!). وفي النهاية هدأ الرعب قليلا عندما اختفت هذه الـ M الغامضة بالسرعة التي ظهرت بها. ومن المحتمل أن هذه الاشارة نتجت عن عاصفة غبارية غطت سطح كوكب المريخ بأكمله عدا قمم أربعة براكين كبيرة، وبالتالي أخذت أعالي هذه البراكين شكل الحرف M أو الحرف W.

البحث العلمي عن الحياة

يصرح العلماء الجادون الذين يدرسون إمكانية وجود حياة في الفضاء الخارجي بأنه من المستحيل قول أي شيء مؤكد حول طبيعة هذه الحياة،

بافتراض أنها موجودة. ومع ذلك نستطيع اقتراح بعض الدلائل العامة حول طبيعة الحياة الأجنبية بناء على ما نعرفه من الفيزياء والكيمياء وعلم الأحياء.

أولا، يعتقد العلماء أن الماء السائل سيكون العامل الأساس في وجود الحياة في الكون. «اتبع الماء» هو الشعار الذي يردده الفلكيون وهم يبحثون عن دليل على وجود الحياة في الفضاء. إن الماء السائل، على عكس معظم السوائل «مذيب شامل» يمكنه حل مجموعة مختلفة جدا من المواد الكيميائية. وهو طبق مزج مثالي لخلق جزيئات متزايدة التعقيد. والماء ايضا جزيء بسيط موجود خلال الكون، بينما المذيبات الأخرى نادرة جدا.

وثانيا، نعلم أن الكربون عنصر محتمل في خلق الحياة لأن له أربع روابط، وبالتالي يمتلك القدرة على الترابط مع اربع ذرات وخلق جزيئات بالغة التعقيد. وبشكل خاص، من السهل تشكيل سلسلة كربونية طويلة تشكل اساس الهايدروكربونات والكيمياء العضوية. بينما لا تمتلك العناصر الأخرى بأربع روابط مثل هذه الكيمياء الغنية.

شكلت التجربة الشهيرة التي أجراها ستانلي ميلر وهارولد يوري عام 1953 المثال الأكثر بروزا حول أهمية الكربون، وأظهرت أن التشكل التلقائي للحياة قد يكون النتاج الطبيعي الثانوي لكيمياء الكربون. أخذا محلولا من الأمونيا والميثان ومواد كيميائية سامة أخرى اعتقدوا أنها وجدت في المراحل الأولى لتشكل الأرض ووضعاها في قارورة وعرّضاها لتيار كهربائي صغير، ثم ببساطة انتظرا. وخلال أسبوع، استطاعا ملاحظة دليل على تشكل الأحماض الأمينية تلقائيا في القارورة. كان التيار الكهربائي كافيا لتحطيم الروابط الكربونية في الأمونيا والميثان ثم إعادة ترتيب الذرات إلى أحماض أمينية، وهي التي تشكل البروتينات. وبمعنى ما، فالحياة يمكن أن تتشكل تلقائيا. ومنذ ذلك الوقت وجدت الأحماض الأمينية داخل الشهب وفي سحب الغازات في أعماق الفضاء.

وثالثا، فأساس الحياة الرئيس هو الجزيء الذي ينتج نفسه، والذي يدعى «الدنا». وفي الكيمياء، فإن الجزيئات التي تعيد إنتاج نفسها نادرة جدا. لقد استغرق تشكيل جزيء الدنا الأول على الأرض وربما في أعماق

المحيطات مئات الملايين من السنين. وبافتراض أن يستطيع المرء إجراء تجربة ميلر- يوري لملايين السنين في المحيطات، فسوف تتشكل جزيئات تشبه الدنا بشكل تلقائي. ويقع المكان المحتمل لتشكل أول جزيء دنا على الأرض في تاريخ الأرض البدائي قرب فوهة بركان في قاع المحيط، لأن نشاط الفوهات يخلق تزويدا مناسبا من الطاقة لجزيء الدنا الأول وللخلايا، وذلك قبل أن تتشكل النباتات وتتم عملية التمثيل اليخضوري. ليس من المعلوم ما إذا كانت هناك جزيئات كربونية أخرى يمكن أن تنتج نفسها إضافة للدنا، لكن من المحتمل أن جزيئات في الكون تعيد انتاج نفسها ستشبه الدنا بطريقة ما.

ولذا فربما تتطلب الحياة الماء السائل، والكيميائيات الهايدروكربونية، ونوعا من جزيء يعيد إنتاج نفسه مثل الدنا. وباستخدام هذه المعايير العريضة يمكن للمرء أن يقدر تقريبيا تكرر نشوء الحياة الذكية في الكون. كان الفلكي فرانك دريك من جامعة كورنيل أحد الأوائل الذين قدروا ذلك بشكل تقريبي عام 1961. لو بدأت بـ 100 مليار نجم في مجرة درب التبانة يمكنك تقدير الجزء منها الذي يمتلك نجوما كشمسنا. ومن هذا الجزء تستطيع تقدير الجزء الذي يمتلك نظاما شمسيا يدور حولها.

وبشكل أكثر تحديدا، تحسب علاقة دريك عدد الحضارات في المجرة بضرب عدة أرقام بعضها مع بعض بما في ذلك:

- المعدل الذي تولد به النجوم في المجرة،
- الجزء من هذه النجوم الذي له كواكب،
- عدد الكواكب التي تمتلك شروط وجود الحياة لكل نجم،
- الجزء من الكواكب الذي يطور نشوء حياة بالفعل،
- الجزء الذي يطور نشوء حياة ذكية،
- الجزء الذي يود التواصل ويستطيع ذلك،
- عمر الحضارة المتوقع.

وبأخذ تقديرات معقولة وضرب هذه الاحتمالات المتتالية يدرك المرء أن من الممكن وجود 100 إلى 10 آلاف كوكب في مجرة درب التبانة وحدها قادر على استقبال الحياة الذكية. ولو كانت هذه الأشكال الذكية

من الحياة متوزعة بتجانس عبر مجرة درب التبانة فيمكننا أن نتوقع وجود مثل هذا الكوكب على بعد بضع مئات السنين الضوئية من الأرض. وفي عام 1974 قدر كارل ساغان أنه قد يكون هناك حتى مليون من مثل هذه الحضارات ضمن مجرة درب التبانة وحدها.

لقد زود هذا التنظير بدوره مبررا إضافيا لأولئك الذين يبحثون عن دليل لحضارات في الفضاء الخارجي. وبأخذ هذا التقدير المشجع لعدد الكواكب التي قد تحتوي أشكالا ذكية من الحياة، بدأ العلماء البحث بجد عن إشارات راديوية يمكن أن تصدرها هذه الكواكب، والتي تشبه إشارات الراديو والتلفزيون التي أصدرها كوكبنا خلال السنوات الخمسين الماضية.

الاستماع لـ إي تي ET

يعود مشروع البحث عن ذكاء في الفضاء الخارجي (SETI) (*) إلى ورقة ذات نفوذ كتبت عام 1959 من قبل الفيزيائي جوسيبي كوتشوني وفيليب موريسون اللذين اقترحا أن الاستماع إلى الإشعاعات الميكروية لتردد بين 1 و10 غيغا هيرتز هو الطريقة الأنسب للتنصت على الاتصالات خارج الفضاء. (تحت 1 غيغا هرتز ستمحى الإشارات بالإشعاع الصادر من الإلكترونات سريعة الحركة، وسيؤثر التشويش من الأكسجين وجزيئات الماء في غلافنا الجوي على أي إشارات فوق 10 غيغا هرتز). لقد اختارا 1420 غيغا هرتز كأفضل تردد واعد من أجل التنصت على إشارات من الفضاء الخارجي لأن هذا هو تردد إصدار غاز الهيدروجين العادي. وهو العنصر الأكثر وجودا في الكون. (أعطيت الترددات ضمن هذا المجال اسم «ثقب التزويد بالماء»، باعتبار ملاءمتها للتواصل الفضائي).

لكن عملية التفتيش عن دليل على إشارات ذكية قرب «ثقب التزويد بالماء» كانت مخيبة للآمال. بدأ فرانك دريك المشروع أوزما (سمي على اسم ملكة أوز) عام 1960 للبحث عن إشارات باستخدام التلسكوب

(*) The Search For Extraterrestrial Intelligence.

الراديوي بقطــر 25 م في غرين بانك في فرجينيا الغربية. ولم يعثر على أي إشــارات، سواء من مشروع أوزما أو من مشــاريع أخرى حاولت مسح السماء خلال الأعوام السابقة.

وفــي عام 1971 قدمت ناســا اقتراحا طموحــا لتمويل بحث SETI. ســمي المشروع «ســايكلوبس» وشمل 1500 تلســكوب راديوي بتكلفة 10 مليــارات دولار. وليس مــن الغريب أن البحث لم يتــم، فقد توفر التمويل لمقترح أكثر تواضعا، وهو إرســال رسالة مشفرة بحذر للحياة الأجنبية في الفضاء الخارجي. وفي عام 1974 أرسلت رسالة مشفرة مؤلفة من 1679 حرفا عبر تلســكوب أريســبو الراديوي الضخم في بورتو ريكو نحو تجمع غلوبيولر M13 على بعد 25100 ســنة ضوئيــة من الأرض. صنع العلماء فــي هذه الرســالة القصيرة نموذجا شــبكيا ببعد 23 x 73 رســم موقع نظامنا الشمســي، ويحتوي على شــرح للبشــر وبعض الصيغ الكيميائية. (وبسبب المسافات الهائلة فسيكون الموعد الأقرب لتسلم رسالة من الفضاء الخارجي بعد 52174 سنة من الآن).

لم يعجب الكونغرس بأهمية هذه المشــاريع حتى بعد اســتقبال إشارة راديويــة غريبة دعيت إشــارة «واو» عــام 1977. تألفت من مجموعة من الأحرف والأعداد بدت غير عشــوائية وأنها تؤشر على وجود ذكاء. (بعض الذين رأوا إشارة «واو» لم يقتنعوا بها).

ونتيجة ليأســهم من تمويل الحكومة الفدرالية لهم، تحول الفلكيون في عام 1995 إلى مصادر تمويــل خاصة لبدء معهد SETI غير الربحي في ماونتين فيو فــي كاليفورنيا، لتركيز بحوث SETI ولبدء مشــروع فينكس لدراســة ألف نجم قريب يشبه الشــمس في المجال من 1200 إلى 3000 ميغا هرتــز. وعين الدكتور جيل تارتر (وهو نموذج العالم الذي لعبت دوره الممثلة جودي فوستر في الفيلم كونتاكت «التلامس» مديرا له. كانت الأجهزة المستخدمة في المشــروع حساسة جدا بحيث تستطيع التقاط الإصدارات من نظام رادار في مطار يبعد 200 سنة ضوئية).

ومنذ عام 1995 مسح معهد SETI أكثر من ألف نجم بكلفة 5 ملايين دولار في العام. لكن لم يتم الحصول على أي نتيجة ملموســة. ومع ذلك،

يعتقد أكبر الفلكيين في SETI، سيث شوستاك، بتفاؤل[1] بأن سلسلة تلسكوبات ألان بهوائي 350 مترا والتي تبنى الآن على بعد 250 ميلا من شمال شرق سان فرنسيسكو، «ستعثر على إشارة بحلول عام 2025».

المشروع الأحدث هو مشروع SETI@home، الذي بدأه فلكيون في جامعة كاليفورنيا بيركلي عام 1999. فكر هؤلاء باستخدام ملايين مالكي الحاسبات الذين تبقى حاسباتهم من دون عمل معظم الوقت. ينزل المشاركون برنامجا يساعد في فك بعض الإشارات الراديوية التي يلتقطها تلسكوب راديوي بينما تنشط حافظة شاشة المشارك بحيث لا تزعج مستخدم الحاسوب. سجل المشروع إلى الآن 5 ملايين مستخدم في أكثر من مائتي بلد يستهلكون أكثر من مليار دولار من الكهرباء، وكل ذلك بكلفة بسيطة. إنه أعظم المشاريع الحاسوبية الجماعية طموحا في التاريخ، ويمكن أن يخدم كنموذج لمشاريع أخرى تحتاج إلى إمكانات حاسوبية ضخمة لتنفيذ الحسابات. لم يعثر مشروع SETI@home إلى الآن على أي إشارة من مصدر ذكي.

وبعد عقود من العمل الشاق أجبر عدم الحصول على أي تقدم في بحث SETI مؤيديه على طرح بعض الأسئلة الصعبة. قد يكون أحد العيوب الواضحة هو استخدام موجات راديوية عند ترددات محددة فقط. اقترح البعض أن الحياة الفضائية قد تستخدم إشارات ليزرية بدلا من الإشارات الراديوية. ولليزر ميزات عديدة بالمقارنة مع الراديو، لأن قصر طول موجة الليزر يعني أنه بإمكانك إدخال إشارات أكثر في موجة واحدة من الراديو. ولكن بما أن ضوء الليزر ذو اتجاه مباشر ويحتوي على تردد واحد فقط، فمن الصعب جدا التنصت على تردد الليزر الصحيح بدقة.

ربما كان العيب الواضح الآخر هو اعتماد باحثي SETI على حزم تردد راديوية معينة. لو كانت هناك حياة أجنبية فقد تستخدم تقانات ضغط أو قد توزع رسائل عبر حزم أصغر، وهي استراتيجية تستخدم حاليا على شبكة الانترنت الحديثة. وقد يجعلنا التنصت على رسائل مضغوطة نشرت فوق عدة ترددات نسمع ضجة عشوائية فقط.

وباعتبار المشـــاكل الكبيرة التي تواجـــه SETI، فمن المعقول الافتراض أننا في وقت ما من هذا القرن ســـنكون قادرين على اكتشاف إشارة ما من حضـــارة ما في الفضاء الخارجي، بافتـــراض وجود مثل هذه الحضارات. وإذا حدث ذلك، فإنه سيمثل علامة فارقة في تاريخ البشرية.

أين هم الآن؟

أجبـــر عدم عثور مشـــروع SETI على أي إشـــارة من حيـــاة ذكية في الكون العلماء على أن يأخذوا نظرة باردة وقاســـية على الافتراضات وراء علاقـــات فرانك دريك المتعلقة بوجود حيـــاة ذكية على كواكب أخرى. لقد قادتنا الاكتشافات الفلكية الحديثة للاعتقاد بأن احتمال العثور على حياة ذكية يختلف عن تلك التي حســـبت مســـبقا باســـتخدام علاقة دريك في الستينيات. إن احتمال وجود حياة ذكية في الكون أكثر أملا وأكثر تشاؤما في الوقت نفسه مما اعتقد مسبقا.

أولا، قادتنا الاكتشـــافات الحديثة للاعتقاد بأن الحياة يمكن أن تزدهر بطرق لم تعتبر بعلاقات دريك. اعتقد العلماء من قبل أن الماء السائل يمكن أن يوجد فقط في «منطقة غولديلوكس(*)» المحيطة بالشـــمس. (المسافة من الأرض إلى الشـــمس «صحيحة بالضبط». فالأرض ليست قريبة جدا من الشمس بحيث تغلي المحيطات وليست بعيدة جدا بحيث تتجمد، لكنها «صحيحة بالضبط» بحيث تجعل الحياة ممكنة).

لذا أتى اكتشـــاف الفلكيين لماء ســـائل تحت الغطاء الثلجي في القمر أوروبـــا التابع للمشـــتري بمنزلة صدمـــة. يقع أوروبا بعيـــدا خارج نطاق غولديلوكس، لذا بدا أنه لا يلائم الشـــروط التي تتطلبها معادلة دريك. مع ذلك يمكن لقوى المد أن تكون كافية لتذويب الغطاء الجليدي لأوروبا وإنتاج محيط ســـائل دوما. يدور القمر أوروبا حول المشتري بحيث يضغط حقل الثقالة الهائل للمشـــتري القمر مثل كرة من المطـــاط. ويولد هذا احتكاكا فـــي مركزه يؤدي بدوره لذوبان الغطاء الجليـــدي. وبما أن هناك أكثر من 100 قمر في نظامنا الشمســـي وحده، فـــإن هذا يعني أنه يمكن أن تكون

(*) Goldilocks zone، هو مصطلح فلكي يشـــير إلى النطاق الصالح للسكن، أو نطاق الحياة، حول نجم ما [المحررة].

هناك وفرة في الأقمار الداعمة للحياة في نظامنا الشمسـي خارج نطاق غولديلوكس، اكتشف نحو 250 كوكبا خارج النظام الشمسي إلى الآن في الفضاء، وقد يكون لها أيضا أقمار متجمدة يمكنها دعم الحياة).

والأكثر من ذلك، يعتقد العلماء أن الكون يمكن أن يكون مليئا بالكواكب الجوالة التي لم تعد تدور حول أي نجم. وبتأثير قوى المد فقد يحتوي أي قمر يدور حول كوكب جوال على محيطات من الماء السائل تحت غلافه الثلجي، وبالتالي الحياة، لكن من المستحيل رؤية هذه الأقمار بأجهزتنا التي تعتمد على الضوء المنعكس من النجم الأم.

وبما أن عدد الأقمار قد يتفوق بكثير على عدد الكواكب في النظام الشمسي، وبوجود ملايين الكواكب التي تتجول في المجرة، فقد تكون الأجسام الفلكية التي تحتوي على أشكال من الحياة في الكون أكبر بكثير مما اعتقد سابقا.

من جهة أخرى فقد استنتج فلكيون آخرون لأسباب عدة أن احتمالات الحياة على كواكب ضمن منطقة الغولديلوكس ربما كانت أقل بكثير مما قدر مسبقا باستخدام علاقة دريك.

أولا: تظهر برامج حاسوبية أن وجود كوكب بحجم المشتري في نظام شمسي ضروري لرمي الشهب والنيازك إلى الفضاء، وبالتالي فهو يقوم بتنظيف النظام الشمسي باستمرار وجعل الحياة ممكنة. ولو لم يكن المشتري موجودا في نظامنا الشمسي فسترتطم الأرض بالشهب والنيازك مما يجعل الحياة عليها مستحيلة. ويقدر الدكتور جورج ويذريل، الفلكي من مؤسسة كارنيغي في واشنطن، أنه لولا وجود المشتري أو زحل في نظامنا الشمسي لعانت الأرض من ارتطامات من الشهب أكثر بآلاف المرات مما حدث، ولحدثت ارتطامات ضخمة تهدد الحياة كل عشرة آلاف سنة (على غرار الارتطام الذي دمر الديناصورات منذ 65 مليون سنة). ويقول: «من الصعب تخيل كيف يمكن للحياة أن تتحمل مثل هذه الارتطامات العنيفة»[2].

ثانيا: فإن كوكبنا محظوظ بوجود قمر كبير يساعد على استقرار دوران الأرض حول نفسها. وباستمداد قوانين نيوتن في الجاذبية إلى ملايين السنين، يمكن للعلماء أن يبرهنوا على أنه من دون قمر كبير قد يصبح

محور دوران الأرض غير مســـتقر، وربما تسقط الأرض، مما يجعل الحياة مســـتحيلة. ويقدر الفلكي الفرنســـي الدكتور جاك لاســـكر[3] أنه من دون قمرنا فإن محور الأرض سيهتز بين 0 إلى 54 درجة، مما يؤدي إلى تشكل ظروف مناخية قاسية لا تساعد على الحياة. لذا فوجود قمر كبير يجب أن يوضع مع الشروط المستخدمة في علاقة دريك (إن وجود قمرين صغيرين تابعين للمريخ لا يؤديان إلى تثبيت محوره، مما يعني أن المريخ ربما سقط في الماضي البعيد، وربما سيسقط مرة أخرى في المستقبل).

ثالثا: تشـــير الدلائل الجيولوجية المكتشـــفة حديثا إلى حقيقة أنه في مـــرات عديدة في الماضي انتهت الحياة من علـــى الأرض تقريبا. فمنذ 2 مليار سنة تقريبا ربما كانت الأرض مغطاة كليا بالجليد، بحيث كانت «كرة جليدية» تستطيع بالكاد دعم الحياة. وفي أزمنة أخرى ربما اقتربت ثورات البراكين وارتطامات الشـــهب من تدمير الحيـــاة جميعها على الأرض. لذا فإن خلق الحياة وتطورها أكثر هشاشة مما قدرنا مسبقا.

رابعـــا، ربما اندثرت الحياة الذكية من على ســـطح الأرض تقريبا فيما مضى. فمنذ نحو مائة الف سنة ربما كان هناك بضع مئات أو بضعة آلاف من البشر بحسب آخر دليل من الدنا. وعلى النقيض من معظم الحيوانات مـــن صنف واحد، والتي تفصلها اختلافات جينية كبيرة، فإن البشـــر كلهم يشـــبه بعضهم بعضا تقريبا جينيا. وبالمقارنـــة مع مملكة الحيوانات، فإننا تقريبا نســـخ بعضنا عن بعض. ويمكن تفسير هذه الظاهرة فقط بحدوث «اختناقات» في تاريخنا قضي خلالها على معظم الجنس البشري، كحدوث انفجار بركاني ربما جعل المناخ يبرد فجأة.

لا تزال هناك مصادفات محظوظة كانت ضرورية لنشـــوء الحياة على الأرض ومنها:

- **حقـل مغناطيسي قـوي**. هذا ضروري لحرف الأشـــعة الكونية والإشعاع اللذين يمكنهما تدمير الحياة على الأرض.
- **سـرعة متوسـطة لـدوران الكوكـب**. لـــو دارت الأرض ببطء كبير فســـيكون الوجه المقابل للشـــمس حارا جدا، بينما ســـيكون الوجه الآخر باردا جدا لفترات طويلة من الزمن. ولو دارت الأرض بسرعة

مـــدار عطارد) وإما في مدارات بيضاوية جدا. وفي كلتا الحالتين فوجود كوكب صغير شـــبيه بالأرض يدور في منطقة غولديلوكس مستحيل. ولو دار كوكب بحجم المشتري قريبا جدا من النجم الأم فهذا يعني أنه هاجر من مسافة بعيدة وانتقل تدريجيا إلى مركز النظام الشمسي. (ربما بسبب الاحتـــكاك الناجم عـــن الغبار). وفي تلك الحالة ســـيعبر الكوكب بحجم المشـــتري في النهاية مدار الكوكب الأصغر الشبيه بالأرض قاذفا إياه إلى الفضاء الخارجي. ولو اتبع الكوكب بحجم المشـــتري مدارا بيضاويا جدا فيعنـــي ذلك أنه ســـيمر بصورة منتظمة خلال منطقـــة غولديلوكس مرة أخرى، مسببا قذف أي كوكب بحجم الأرض إلى الفضاء الخارجي.خيبت هذه الاكتشـــافات آمال الفلكيـــين والباحثين عن الكواكب في اكتشـــاف كواكب شبيهة بالأرض، ولكن هذه الاكتشافات متوقعة في المنظور البعيد. إن أجهزتنا بدائية جدا بحيث إنها لا تســـتطيع الكشـــف ســـوى عن أكبر الكواكب بحجم المشـــتري وأســـرعها، والتي لها تأثير مقاس على النجم الأم. لذا فليس من الغريب ألا تســـتطيع التلسكوبات الحالية أن تكتشف ســـوى الكواكب العملاقة التي تتحرك بسرعة في الفضاء. ولو كان هناك توأم مماثل تماما لنظامنا الشمســـي في الفضاء الخارجي فمن المحتمل ألا تتمكن أجهزتنا من العثور عليه.

كل هـــذا يمكن أن يتغير، مع إطلاق كوروت وكيبلر ومكتشـــف الكواكب الفضائيـــة، وهي ثلاثة أقمار اصطناعية صممت لإيجاد مواقع بضع مئات من الكواكب الشبيهة بالأرض. سيفحص القمر كوروت والقمر كيبلر، على ســـبيل المثال، الظل الباهت الذي يلقيه الكوكب الشـــبيه بالأرض وهو يمر أمام وجه النجم الأم، مخفضا قليلا إشـــعاعه الشمســـي. وعلى الرغم من أن الكوكب الشبيه بالأرض لن يكون مرئيا، فإنه يمكن كشف الانحسار في الشعاع الشمسي من النجم الأم بواسطة القمر الاصطناعي.

أطلـــق القمر الاصطناعي الفرنســـي كوروت (الذي يعني بالفرنســـية الحمل الحراري، والدوران النجمي، والانتقال الكوكبي) بنجاح في ديسمبر عام 2006 ويمثل علامة فارقة، لأنه أول مسبار فضائي يبحث عن كواكب خارج النظام الشمســـي. ويأمل العلماء في العثور على عشـــرة إلى أربعين

كوكبا شـــبيها بالأرض. ولـــو نجحوا فمن المحتمل أن تكـــون هذه الكواكب صخرية وليســـت كواكب غازية عملاقة، وســـتكون أكبـــر بمرات قليلة من الأرض. وسيكتشـــف كوروت عددا من الكواكب بحجم المشتري إضافة إلى ما تم اكتشـــافه. يقول الفلكي كلود كاتالا: «سيســـتطيع كوروت العثور على كواكب من الأحجام والأنواع كلها خارج النظام الشمسي، على النقيض مما نســـتطيع فعله من الأرض الآن». وعلى العمـــوم يأمل العلماء أن يقوم هذا القمر بمسح حتى 120 ألف نجم.

وقـــد يجد كوروت في أي يوم دليلا على أول كوكب شـــبيه بالأرض في الفضاء، مما سيشكل نقطة تحول في تاريخ علم الفلك. وفي المستقبل قد يصدم الناس عندما يتطلعون إلى الشـــماء في الليل وهم يعلمون أن هناك كواكب يمكنها توطين حياة ذكية. وعندما سننظر إلى السماء في المستقبل فقد نتساءل فيما إذا كان هناك من ينظر إلينا.

من المتأمل أن يطلق القمر الاصطناعي كيبلر في أواخر عام 2008 من قبل وكالة ناســـا (*). وهو قمر حساس جدا يمكنه اكتشاف مئات الكواكب الشبيهة بالأرض في الفضاء. وسيقيس بريق 100 ألف نجم ليكتشف حركة أي كوكب وهو يمر أمام وجه النجم التابع له. وخلال أربع سنوات من عمله سيراقب كيبلر آلاف النجوم التي تبعد حتى 1950 سنة ضوئية من الأرض ويحللها. وفي السنة الأولى من دورانه يتوقع العلماء أن يجدوا ما يلي:

- خمسين كوكبا بحجم الأرض.
- 185 كوكبا أكبر من الأرض بـ 30 في المائة.
- 640 كوكبا بحجم 2.2 من حجم الأرض.

وربما كان لمكتشـــف الكواكب الفضائية فرصـــة أفضل في العثور على كواكـــب شـــبيهة بالأرض. وبعد تأخـــرات عدة فمن المتوقـــع أن يطلق عام 2014، وســـوف يحلـــل حوالي 100 نجم تبعد حتى 45 ســـنة ضوئية عنا بدقة كبيرة. وســـوف يـــزود بجهازين منفصلين للبحث عـــن كواكب بعيدة.

(*) أطلـــق القمر الاصطناعي كيبلا يـــوم 7 مارس 2009، وأعلنت نتائجـــه الأولية في 4 يناير 2010، حيـــث تم بالفعل اكتشـــاف كواكب ذات فترات مدارية قصيرة. تلا ذلك اكتشـــاف كواكب أخرى ذات فترات مدارية أطول. وبناء على توصية لجنة مســـتقلة من كبار علماء وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا)، سيواصل القمر رحلته حتى عام 2016 [المحررة].

الجهاز الأول عبارة عن كورونوغراف، وهو تلسكوب خاص يوقف الإشعاع الشمسي من النجم الأم مخفضا ضوءه بعامل 1 مليار. وسيكون التلسكوب أكبر بـ 3 إلى 4 مرات من تلسكوب هابل الفضائي، وأكثر دقة منه بعشر مرات. والجهاز الثاني عبارة عن انترفيروميتر، يستخدم تداخل الموجات الضوئية لإلغاء الضوء من النجم الأم بعامل 1 مليون.

وفي هذه الأثناء تخطط وكالة الفضاء الأوروبية لإطلاق قمرها الباحث عن الكواكب، داروين، إلى مدار عام 2015 أو بعد ذلك. ومن المخطط أن يتألف من ثلاثة تلسكوبات فضائية كل منها بقطر 3 أمتار تطير بتشكيل معين، وتعمل كجهاز انترفيروميتر واحد كبير. وستكون مهمته أيضا تمييز كواكب شبيهة بالأرض في الفضاء.

وسيساعد تحديد مئات الكواكب الشبيهة بالأرض في الفضاء الخارجي في إعادة التركيز على مجهود SETI. وبدلا من المسح العشوائي للنجوم القريبة، سيستطيع الفلكيون تركيز جهودهم على مجموعة صغيرة من النجوم التي يمكن أن تحتوي على توأم لكوكب الأرض.

كيف تبدو؟

حاول علماء آخرون استخدام الفيزياء وعلم الأحياء والكيمياء للتكهن بشكل الحياة الأجنبية. على سبيل المثال، تساءل اسحق نيوتن لماذا تمتلك جميع الحيوانات التي يراها حوله التناظر الثنائي ذاته - عينان وذراعان وساقان مرتبة تناظريا. هل هذا مجرد مصادفة سعيدة أم أنه من صنع خالق؟

يعتقد علماء الأحياء اليوم أن الطبيعة جربت خلال «الانفجار الكامبري»، منذ نحو نصف مليار سنة، مجموعة كبيرة من الأشكال والهيئات بالنسبة إلى مخلوقات ناشئة متعددة الخلايا. كان بعضها يمتلك عمودا فقريا على شكل X ، Y ، Z. وامتلك بعضها تناظرا قطريا مثل نجم البحر. وبالمصادفة امتلك أحدها عمودا فقريا مثل الحرف I بتناظر ثنائي حوله، وكان هذا هو جد معظم الحيوانات الثديية على الأرض. لذا من حيث المبدأ، فإن الشكل البشري بتناظر ثنائي، وهو الشكل نفسه الذي تستخدمه هوليوود لوصف الأجانب في الفضاء، لا ينطبق بالضرورة على أشكال الحياة الذكية كلها.

يعتقد بعض علماء الأحياء أن السـبب وراء تنوع أشـكال الحياة الذي ازدهـر خلال الانفجار الكامبري يعود إلى «سـباق السـلاح» بين الصياد والفريسة. أجبر ظهور الكائنات الأولى متعددة الخلايا التي تلتهم الكائنات الأخرى تطورا متسـارعا للنوعين، حيث يتسـابق كل منهمـا ليتغلب على الآخر. ومثل سـباق التسـلح بين الاتحاد السـوفييتي السـابق والولايات المتحدة خلال الحرب الباردة، على كل فريق أن يكافح للحفاظ على تفوقه على الفريق الآخر.

وبتفحـص كيفية تطور الحياة على هـذا الكوكب يمكن للمرء أيضا أن يقـوم بالتخمينات التالية حـول كيفية تطور الحيـاة الذكية على الأرض. استنتج العلماء أن الحياة الذكية ربما تطلبت:

1- نوعا من البصر أو آلية تحسس لتفحص بيئتها؛

2- نوعـا من الإبهام المسـتخدم للالتقـاط - ويمكن أن يكون أيضا مجسا أو مخلبا؛

3- نوعا من نظام اتصال، مثل الحديث.

هذه المواصفات الثلاث ضرورية لتحسس بيئتنا وفي النهاية للتحكم فيهـا، وكلاهما يدلان على الذكاء. ولكـن عدا هذه المواصفات الثلاث فأي شيء ممكن. وعلى النقيض من العديد من الأجانب الذين يظهرون على التلفاز فلا ضرورة لأن يبدو الغريب مشابها للبشر على الاطلاق. ويبـدو الأجانب بمظهر طفولـي وعيون منتفخة، والذيـن نراهم على التلفـاز وفي الأفلام، مثل الأجانب في أفـلام الدرجة الثانية المزروعة جيدا في عقلنا الباطن.

(أضاف بعض علماء الإنسـان مع ذلك مواصفة رابعة للحياة الذكية لتفسـير حقيقة غريبة: البشر أذكى بكثير مما يحتاجون للبقاء على قيد الحياة في الغابة. تسـتطيع عقولنا أن تتقن السفر عبر الفضاء ونظرية الكوانتـم والرياضيـات المتقدمة - وهي مهارات غيـر لازمة للصيد أو الالتقـاط في الغابة. لماذا هـذه القدرة العقلية الفائقـة؟ في الطبيعة، عندما نـرى أزواجا من الحيوانات كالفهد والظبي يمتلكان مهارات غير عادية أكثر من اللازم للبقاء بكثير، نجد أن هناك سـباق تسـلح بينهما.

وبالمثل يعتقد بعض العلماء بوجود معيار رابع وهو نوع من «سباق تسلح» بيولوجي يدفع البشر. ربما كان سباق التسلح هذا مع أعضاء آخرين من جنسنا البشري).

فكر في أشكال الحياة المختلفة المدهشة على الأرض كلها. لو استطاع المرء على سبيل المثال أن يناسل الأكتوبود (octopods)(*) بالانتقاء لعدة ملايين السنين، فمن المعقول أنها قد تتطور لتصبح ذكية. (لقد انفصلنا عن القرود منذ 6 ملايين سنة، ربما لأننا لم نكن متأقلمين جيدا مع البيئة المتغيرة لأفريقيا. بالمقابل تأقلم الأخطبوط بشكل جيد جدا مع حياته تحت صخرة، ولذا لم يتطور لملايين السنين). يقول البيوكيميائي كليفورد بيكوفر انه عندما يحدق في جميع «القشريات غريبة الشكل، والديدان الخناثي المنفرة، وقناديل البحر بمجساتها الطرية، والعفونات الغروية أعلم أن لله مخلوقات طريفة وسنرى ذلك في أشكال أخرى في الكون».

مع ذلك، ربما كانت هوليوود محقة عندما تصف أشكال الحياة الأجنبية الذكية على أنها آكلات لحوم. ولا يضمن الأجانب آكلو اللحوم مبيعات تذاكر للأفلام أكثر بكثير، إلا أن هناك أيضا عنصرا من الحقيقة في هذا الوصف. وعادة ما يكون الصياد أذكى من فريسته. وعلى الصياد أن يستخدم الخداع للتخطيط والمطاردة والاختفاء والانقضاض على فريسته. ولدى الثعالب والكلاب والنمور والأسود عيون في مقدمة وجوهها لتحدد المسافة عندما تقفز على ضحيتها. وبعينين تستطيع استخدام الرؤية ثلاثية الأبعاد للتركيز على فريستها. وعلى الفرائس، كالغزلان والأرانب، بدورها أن تعرف كيف تهرب. فلها عينان على جانبي وجهها لمسح وجود الحيوانات المفترسة بـ 360 درجة حولها.

وبعبارة أخرى، قد تتطور الحياة الذكية في الفضاء الخارجي من مفترسين بعيون أو بعضو حساس في مقدمة وجهها. وقد تمتلك بعض الحيوانات اللاحمة تصرفا عدوانيا ومناطقيا نجده لدى الأسود والذئاب

(*) هي طائفة من الرخويات الرأسقدميات (أو رأسيات الأرجل) ذات ثمانية مجسات، مثل الأخطبوط [المحررة].

والبشـــر على الأرض. (ولكن بما أن مثل هذه الأشكال من الحياة مؤسسة على جزيئات دنا أو بروتينـــات مختلفة تماما عنا، فلن تكون لديها الرغبة في أكلنا أو التناسل معنا).

ونســتطيع أيضا استخدام الفيزياء لنخمن حجم أجسادها. وبافتراض أنهـــا تعيش على كواكب بحجم الأرض ولها تقريبا كثافة الماء نفســها، مثل أشـــكال الحياة على الأرض، فمن المحتمل أن تكون الكائنات الضخمة غير ممكنة بسبب قانون الحجم الذي ينص على أن قوانين الفيزياء تتغير بشكل كبير مع زيادة حجم أي جسم.

الحيوانات الضخمة وقانون الحجم .

لـــو كان كينغ كونغ موجودا حقا فلن يكون باســتطاعته إخافة ســكان مدينة نيويورك. على العكس من ذلك، فستتكســـر ساقاه في اللحظة التي يخطـــو فيها خطوة واحدة. ويعود هذا إلى أنك لو أخذت قردا وزدت طوله 10 أمثال فإن وزنه ســيزداد بزيادة حجمه أي بـــ 10x10x10 = 1000 مرة. وبالتالي سيكون أثقل بـ 1000 مرة. لكن قوته تزداد بالمقارنة مع ثخن عظامه وعضلاته. وستزداد مساحة المقطع العرضي لعظامه وعضلاته مع مربع المسافة فقط، أي بـ 10x10 = 100 مرة. وبعبارة أخرى لو كان رينغ كونغ أكبر بـ 10 مرات فسـيكون أقوى بـ 100 مرة فقط، لكن وزنه سيكون أكبر بـ 1000 مرة. وبالتالي ســيزداد وزن القرد بزيادة طوله بسرعة أكبر بكثير من قوته. وســيكون بالمقارنة أضعف بـ 10 مرات من القرد العادي. وهذا هو السبب في أن قدميه كانتا ستتكسران.

أتذكر معلمي في المدرســة الابتدائيــة وهو يتعجب من قوة النملة التي تستطيع أن تحمل عدة أمثال وزنها. استنتج معلمي أنه لو كان للنملة حجم بيت فإنه ســيلتقط ذاك البيت. لكن هذا الافتراض غير صحيح للســبب نفســه بالنســبة لكينغ كونغ. لو كانت هناك نملة بحجــم بيت فإن أرجلها ستتكسر أيضا. لو زدت بعد النملة بعامل 1000 فستكون أضعف بـ 1000 مرة مـــن النملة العادية، وبالتالي فســتنهار من ثقلها. (وســتختنق أيضا. تســتطيع النملة التنفس خلال ثقوب على جوانب جسمها. وتزداد مساحة

هذه الثقـوب مع مربع القطر، لكن حجم النملة يـزداد مع مكعب القطر. وبالتالـي فإن نملة حجمها أكبر بـ 1000 مرة من نملة عادية سـيكون لها هواء أقل بـ 1000 مرة من الضروري لتزويد الأكسجين لعضلاتها وأنسجة جسـدها. وهذا هو أيضا سـبب أن أبطال التزحلق علـى الجليد وألعاب الجمباز أقصر في الغالب من الرجل العادي. على الرغم من أنهم يمتلكون الأبعاد نفسها كأي شخص آخر. وبالنسبة للوزن، فلديهم قوة عضلات أكبر مقارنة بالأشخاص الطوال).

ونسـتطيع أيضا باسـتخدام قانون الحجم حسـاب الشـكل التقريبي للحيوانات على الأرض، وربما الكائنات الأجنبية في الفضاء. فالحرارة التي يصدرها الحيوان تزداد مع زيادة مسـاحة سـطح جسمه. وبالتالي، فزيادة البعد بعشرة أمثال يرفع ضياع الحرارة بـ 10x10 = 100 مرة. لكن المحتوى الحراري ضمن الجسـم يتناسـب مع حجمه أي بـ 10x10x10= 1000 مـرة. وبالتالي، تفقد الحيوانات الكبيـرة الحرارة ببطء أكبر من الحيوانات الصغيرة. (هذا هو سبب أن أصابعنا وآذاننا تتجمد أولا في الطقس البارد، لأن سطحها أصغر من سطح الأطراف الأخرى، وهذا هو السبب في أن ذوي الأجساد الصغيرة يبردون بسرعة أكبر من ذوي الأجساد الكبيرة. وهو يشرح لماذا تحترق الصحف بسـرعة كبيرة بسبب سـطحها النوعي الكبير مقارنة بقطع الفحم التي تحترق ببطء بسبب صغر سطحها النوعي بالمقارنة). كما يشـرح ذلك أيضا لماذا تكون الحيتان في القطب الشـمالي دائرية الشـكل - لأن السـطح النوعي للكرة أصغر من الأشـكال الأخرى بالكتلة نفسها). ولماذا يكون شكل الحشرات شريطيا في مناخ أدفأ بسطح نوعي أكبر نسبيا بالنسبة إلى وحدة الكتلة.

فـي فيلم دزنـي «حبيبتي، لقد قلصت حجـم الأولاد» (*) يتقلص حجـم العائلة إلى حجم النمل. تهب عاصفـة مطرية ونرى في العالم المصغر قطرات ضئيلة من المطر تسقط على برك ماء. في الواقع، ترى النملة قطرة المطر ليس على شكل قطرة ضئيلة وإنما على شكل نصف كـرة ضخمة مـن الماء. وفي عالمنا فإن تلة نصـف كروية من الماء غير

(*) Honey, I Shrunk the Kids.

مســـتقرة وستنهار من وزنها تحت تأثير الثقالة. لكن في العالم المصغر فإن التوتر السطحي كبير نسبيا بحيث تبقى تلة نصف كروية من الماء مستقرة تماما.

بالمثل، نســـتطيع في الفضــاء الخارجي تقدير النســبة التقريبية بين ســطح الحيوانات على كواكب بعيدة وحجمها باستخدام قوانين الفيزياء. وباستخدام هذه القوانين نرى أن الأجانب في الفضاء الخارجي لن يكونوا على الأغلب عمالقة كما يوصفون كثيرا في قصص الخيال العلمي، ولكنهم سيشـــبهوننا تقريبا من حيث الحجم. (يمكن للحيتان على سبيل المثال أن تكون أضخم بسبب قوة الطفو لماء البحر. ويفسر هذا سبب موت الحوت على الشاطئ - لأنه يتحطم على الشاطئ بفعل ثقل جسمه).

يفيد قانون الحجم بأن قوانين الفيزياء تتغير ونحن نمضي في عالم أصغر فأصغر. ويفســـر هذا لماذا تبدو نظرية الكوانتم غريبة بالنســـبة إلينا وهي تخترق أفكارا بديهية حول كوننا. لذا يســـتبعد قانون الحجم الفكـــرة المعتادة عن «عوالم ضمن عوالـــم» المذكورة في قصص الخيال العلمـــي. أي الفكرة أنه ضمن الذرة يمكـــن أن يوجد كون بأكمله أو أن مجرتنا يمكن أن تكون ذرة في كون أكبر بكثير. استكشـــفت هذه الفكرة في فيلم «رجال في ثياب ســـوداء» (*). ففي المشـــهد الأخير من الفيلم تبتعـــد الكاميرا عن الأرض إلى الكواكب والنجوم والمجرات حتى يصبح كوننا بكامله كرة وحيدة في لعبة فضائية هائلة يلعب بها عمالقة أجانب.

فـــي الواقع لا يوجد شـــبه بين مجرة من النجـــوم وبين ذرة. ففي الذرة تختلـــف الإلكترونات داخـــل أغلفتها تماما عن الكواكـــب. نعلم جميعا أن الكواكـــب كلها تختلف عن بعضها بعضا ويمكنها أن تدور عند أي مســـافة من النجم الأم. لكن في الذرات تكون الجسيمات تحت الذرية كلها متماثلة تماما. ولا تســـتطيع أن تدور عند أي مســـافة من النواة، لكن في مدارات معينـــة فقط. (والأكثـــر من ذلك، يمكـــن للإلكترونات علـــى النقيض من الكواكب، أن تظهر تصرفا غريبا يخالف المنطق الســـليم، مثل أن تكون في مكانين في الوقت نفسه وأن يكون لها خصائص موجية).

(*) Men in Black.

فيزياء الحضارات المتقدمة

من الممكن أيضا استخدام الفيزياء لرسم الخطوط العريضة للحضارات في الفضاء. لو نظرنا إلى صعود حضارتنا خلال الـ 100 ألف عام الأخيرة، منذ ظهور الإنسان الحديث من أفريقيا، سنرى أنها قصة تزايد مستمر في استهلاك الطاقة. رأى عالم الفيزياء الفلكية الروسي نيكولاي كارداشيف أنه يمكن تصنيف مراحل تطور الحضارات الفضائية في الكون بحسب استهلاكها من الطاقة. وباستخدام قوانين الفيزياء، فقد وضع الحضارات الممكنة في ثلاث مجموعات:

1- حضارات من النوع الأول: وهي حضارة تحصد طاقة كوكبية مستخدمة الإشعاع الشمسي الذي يسقط على الكوكب جميعه. وربما تستطيع تطويع الطاقة من البراكين مثلا، وأن تتلاعب بالطقس، وأن تتحكم بالهزات الأرضية، وأن تبني مدنا في المحيطات. إن طاقة الكوكب جميعها تدخل ضمن تحكمهم.

2- حضارات من النوع الثاني: وهي تلك التي تستطيع استخدام القدرة الكاملة لشمسها مما يجعلها أقوى بـ 10 مليارات مرة من حضارة من النوع الأول. إن اتحاد الكواكب في مسلسل ستار ترك هو حضارة من النوع الثاني. والحضارة من النوع الثاني هي بمعنى ما حضارة خالدة ولا يمكن لأي شيء معروف في العلم كالعصور الجليدية أو ارتطام النيازك أو حتى للمستعرات العملاقة أن تحطمها. (يمكن لهذه الكائنات في حال كان نجمها الأم على وشك الانفجار أن تنتقل إلى نظام نجمي آخر، أو ربما يمكنها حتى أن تنقل كوكبها نفسه).

3- حضارات من النوع الثالث: يمكن لهذه الحضارات أن تستخدم طاقة مجرة بكاملها. وهي أقوى بـ 10 مليارات مرة من حضارات من النوع الثاني. وتعود المدينة في ستار ترك والامبراطورية في حروب النجوم وحضارة المجرة في سلسلة «مؤسسة» آسيموف إلى حضارة من النوع الثالث. لقد استعمروا مليارات الأنظمة النجمية، ويمكنهم استخدام الطاقة من الثقب الأسود في مركز مجرتهم. وهم يتجولون بحرية في مسارات الفضاء ضمن مجرتهم.

قدر كارداشيف أن أي حضارة تنمو بمعدل بضع مئات في السنة في استهلاك الطاقة ستتطور بسرعة من نوع إلى النوع الآخر خلال بضعة آلاف إلى عشرات آلاف السنين.

وكما ناقشت في كتبي السابقة[6]، تصنف حضارتنا على أنها حضارة من النوع صفر (على سبيل المثال، نستخدم النباتات الميتة والنفط والفحم الحجري لتزويد آلاتنا بالوقود). ونستخدم جزءا بسيطا فقط من طاقة الشمس التي تسقط على كوكبنا. لكن يمكننا مسبقا رؤية بدايات حضارة من النوع الأول تنشأ من الأرض. فالإنترنت هي بداية نظام اتصالات من النوع الأول تربط الكوكب بكامله. ويمكن رؤية بداية النوع الأول من الاقتصاد في صعود الاتحاد الأوروبي الذي وجد لينافس بدوره منظمة نافتا. واللغة الإنجليزية هي مسبقا اللغة الثانية الرئيسة على الأرض، وهي لغة العلم والمال والاقتصاد. وأتصور أنها قد تصبح اللغة من النوع الأول التي يتكلمها كل إنسان تقريبا. وستستمر الثقافات والعادات المحلية بالازدهار بآلاف الأشكال على الأرض، لكن سيكون فوق هذه الفسيفساء من البشر حضارة كوكبية تسيطر عليها ربما ثقافة الشباب والتجارة.

ليس الانتقال من نوع من الحضارة إلى نوع آخر مضمونا. وربما كان الانتقال الأكثر خطورة على سبيل المثال هو بين حضارة من النوع صفر والنوع الأول. ولاتزال حضارة من النوع صفر مثقلة بالأصولية والطائفية والعنصرية التي ميزت صعودها، وليس من الواضح ما إذا كانت هذه العواطف الدينية والقبلية ستجتاح هذا الانتقال. (ربما كان أحد أسباب عدم رؤيتنا للنوع الأول من الحضارات في المجرة حتى الآن هو أنها لم تقم بهذا الانتقال. أي أنها دمرت نفسها. ويوما ما، حين نزور أنظمة نجمية أخرى، قد نجد بقايا حضارات قضت على نفسها بطريقة أو أخرى، على سبيل المثال، أن تصبح أجواؤها مشعة جدا أو حارة جدا لدعم الحياة).

وفي الوقت الذي تصل فيه حضارة ما إلى مستوى حضارة من النوع الثالث فسيكون لديها الطاقة والمعرفة اللازمتان للسفر بحرية خلال المجرة، وحتى أن تصل إلى كوكب الأرض. وكما في الفيلم «2001»، قد ترسل مثل هذه الحضارات مسابر آلية تنسخ نفسها خلال المجرة باحثة عن الحياة الذكية.

لكــن قد لا يكون لحضارة من النوع الثالث ميــل لزيارتنا أو إخضاعنا كمــا في فيلم «يوم الاســتقلال»، حيث تنتشــر حضارة كهذه كســرب من الجراد يحوم حول الكواكب تســحب مواردها حتى الجفاف. في الحقيقة هناك عدد لا يحصى من الكواكب الميتة في الفضاء الخارجي تمتلك ثروة معدنيــة هائلة ويمكنهم الحصــول عليها من دون الاضطــرار للتعامل مع سكان محليين غير مستقرين. وقد تشبه نظرتهم لنا نظرتنا لتل من النمل. وســيكون ميلنا هو ألا ننحني ونقدم لها الكــرات والحلي، بل أن نتجاهلها بكل بساطة.

إن الخطــر الرئيس الــذي يواجهه النمل ليس في أن البشــر يريدون اجتياحه أو مســحه من على وجه الأرض. إنه ببســاطة هو أننا ســنزيحه لأنــه موجود في طريقنا. تذكر أن المســافة بين حضــارة من النوع الثالث وحضارتنــا مــن النوع صفر بمقياس اســتخدام الطاقة أوســع بكثير من المسافة بيننا وبين النمل.

الأجسام الطائرة الغامضة UFOS

يدّعي بعــض الناس أن كائنــات من الفضاء الخارجــي زارت الأرض مسبقا على شكل UFOs. وعادة ما يدحرج العلماء عيونهم عندما يسمعون عن الـ UFO، ويســتبعدون هذا الاحتمال، لأن المسافات بين النجوم كبيرة جدا. لكن بغض النظر عن ردود فعل العلماء، لم تتناقص التقارير المستمرة خلال السنوات.

تعود رؤية الـ UFO في الحقيقة إلى بداية التاريخ المدون. يشير النبي حزقيال بغموض إلى «عجلات ضمن عجلات في الســماء»، حيث يعتقد البعض أنها إشــارة إلى الـ UFO. وفي عــام 1450 ق.م ذكرت المدونات المصريــة في عهد الفرعون تحتمس الثالــث حادثة «دوائر من النار» ألمع من الشمس، وبقطر 5 م ظهرت لأيام عدة ثم صعدت فجأة إلى السماء. وفي عام 91 ق.م كتب المؤلف الروماني يوليوس أوبســيكوين حول «جسم مدور كالكرة حوله درع دائرية يأخذ طريقة إلى السماء». وفي عام 1235 م رأى الجنرال يوريتســومي مع جيشــه كرات غريبة من الضوء تلمع في

السماء قرب كيوتو في اليابان. وفي عام 1561 م شوهد عدد كبير من الأجسام فوق مدينة نورمبورغ في ألمانيا، كما لو كانت مشتبكة في معركة في الهواء.

وفي عهد أقرب أجرت القوات الجوية الأمريكية دراسات واسعة حول مشاهدات الـ UFO. وفي عام 1952 بدأت مشروع الكتاب الأزرق (Project Blue Book) الذي حلل نحو 12618 مشاهدة. استنتج التقرير أن من الممكن تفسير الغالبية العظمى من المشاهدات على أنها ظواهر طبيعية، أو طائرة عادية، أو مجرد أوهام. ومع ذلك صنف 6 في المائة منها على أنها ناتجة عن مصدر غير معروف. لكن نتيجة لتقرير كوندون الذي استنتج عدم وجود شيء ذي قيمة في مثل هذه الدراسات أغلق مشروع الكتاب الأزرق عام 1969. وكان هذا آخر مشروع بحثي معروف عن الـ UFO تقوم به القوات الجوية الأمريكية.

وفي عام 2007 أطلقت الحكومة الفرنسية ملفها الضخم حول الـ UFO إلى الجمهور. نشر التقرير على الانترنت من قبل المركز الوطني الفرنسي لبحوث الفضاء وتضمن 1600 مشاهدة للـ UFO خلال 50 عاما، واحتوى 100 ألف صفحة من أوصاف لشهود عيان وأفلامهم وأشرطة تسجيلهم. وذكرت الحكومة الفرنسية أن 9 في المائة من هذه المشاهدات يمكن شرحها تماما وأن لـ 33 في المائة منها شرحا محتملا ، لكنها لم تكن قادرة على متابعة البقية.

من الصعب بالطبع التحقق من هذه المشاهدات بشكل مستقل. وفي الحقيقة، يمكن بالتحليل الدقيق استبعاد معظم تقارير الـ UFOs نتيجة لما يلي:

1 - **كوكب الزهرة venus، الذي هو أكثر الأجسام سطوعا في الليل بعد القمر.** وبسبب بعده الهائل عن الأرض يبدو أنه يتبعك وأنت تتحرك بالسيارة، مما يعطي الانطباع بأنه يقاد بالطريقة نفسها التي يبدو فيها القمر وهو يلاحقك. نقدر المسافة جزئيا بمقارنة الأجسام المتحركة بالنسبة لما حولها. وبما أن القمر والزهرة بعيدان جدا ولا شيء يمكن مقارنته بهما، فإنهما لا يتحركان بالنسبة لما يحيط بنا، ولذا فهما يعطياننا الوهم البصري بأنهما يتبعاننا.

2 - **غاز المستنقعات**: يحوم الغــاز خلال انقلاب حراري فوق مستنقع فوق سطح الأرض، ويمكن أن يصبح ساطعا قليلا. وقد تنفصل جيوب أصغر مــن الغاز عن جيب أكبر لتعطي الانطباع بسفن إرشادية صغيرة تغادر «السفينة الأم».

3 - **النيـازك Meteors**: يمكن لشــرائح مضيئة من الضوء أن تسافر عبر السماء في الليل خلال ثوان، مما يعطي الوهم بسفينة مرشــدة. ويمكنها أيضا أن تنفصل معطية مرة أخرى الوهم بأنها سفن استكشاف تترك السفينة الأم.

4 - **الشــذوذات الجوية**: هناك أنواع العواصف البرقية جميعها وحــوادث جوية غير عادية يمكنها أن تضيء الســماء بطرق غريبة معطية الوهم بوجود UFO.

وفي القرنين العشــرين والحادي والعشــرين يمكن للظواهر التالية أن تولّد مشاهد للـ UFO:

1 - **أصـداء راديويــة**: يمكن لأمواج الرادار أن ترتد من الجبال وتخلــق أصداء راديوية يمكن التقاطهــا بأجهزة تتبع الرادار. حتى لتبــدو مثل هذه الأمواج وهي تتأرجح وتطير بســرعات عالية على شاشة الرادار، لأنها مجرد أصداء.

2 - **بالونـات الطقس والبحـث**: يدّعي الجيش، في تقرير مثير للجدل، أن الإشــاعة الشــهيرة لتحطم أجنبي عند روزويل في نيو مكسيكو عام 1947 نشــأت عن بالون خاطئ من مشروع موغول، وهو مشروع سري جدا لمراقبة مستويات الإشعاع في الجو في حالة اندلاع حرب نووية.

3 - **طائـرة**: مــن المعروف أن طائرات تجاريــة وحربية أطلقت تقارير UFO. وهذا صحيح خاصة بالنســبة لطيران الاختبار من طائرة تجريبية متطورة مثل قاذفة ستيلث stealth. (في الحقيقة شــجع الجيش الأمريكي قصص الصحون الطائرة لصرف الانتباه عن مشاريع على درجة عالية من السرية).

4 - **ادعاءات كاذبة متعمدة**: إن بعض الصور الأكثر شهرة التي تدعي التقاط صور لصحون طائرة هي في الحقيقة ادعاءات كاذبة. كان أحد الصحون الطائرة المعروفة جيدا التي تظهر نوافذ وعجلات هبوط في الواقع جهاز تغذية دجاج معدل.

يمكن استبعاد 95 في المائة من المشاهدات على الأقل على أنها من الحالات السابقة. لكن هذا لايزال يترك التساؤل مفتوحا عن النسبة الباقية غير المفسرة. تشمل الحالات الأكثر مصداقية للـ UFOs:

1 – مشاهدات متكررة من شهود عيان مستقلين وذوي مصداقية.

2 – دلائل من مصادر متعددة مثل الرؤية بالعين والرادار.

ومن الصعب استبعاد مثل هذه التقارير لأنها تتضمن اختبارات عديدة مستقلة. على سبيل المثال، كانت هناك مشاهدة لـ UFO عام 1986 من قبل طيران JAL 1628 فوق ألاسكا فحصت من قبل وكالة الطيران الفيدرالية الأمريكية (FAA). شوهد الـ UFO من ركاب الرحلة JAL وتوبع أيضا من قبل الرادار الأرضي. وبالمثل كانت هناك مشاهدات رادارية بالجملة لثلاثي زاوي أسود فوق بلجيكا عام 1989 -90 توبعت من قبل رادار الناتو ومن الطائرات النفاثة المعترضة. وفي عام 1976 كانت هناك مشاهدة فوق طهران في ايران نتج عنها حدوث أعطال نظم متعددة في المقاتلة المعترضة F4 كما سجل في وثائق وكالة الاستخبارات الأمريكية.

ولإحباط العلماء الشديد لم يقدم أي من المشاهدات دليلا ماديا صلبا يقود إلى نتائج قابلة للتكرار في المختبر. ولم يسترجع أي دنا غريب أو شريحة حاسوب غريبة أو دليل فيزيائي على هبوط أجنبي على الأرض.

وبالافتراض للحظة أن مثل هذه الأجسام الغامضة قد تكون سفنا فضائية حقيقية بدلا من خيالات، فقد نسأل أنفسنا «ما شكل السفن الفضائية هذه؟». هنا بعض المواصفات التي سجلت من قبل مراقبين.

أ – من المعروف أنها تلتوي في الهواء.

ب – من المعروف أنها توقف عمل السيارة أو توقف تدفق الكهرباء عند مرورها بالقرب.

ت – تحوم بصمت في الهواء.

لا يلبي أي من هذه المواصفات وصف الصواريخ التي طورناها على الأرض. وعلى سبيل المثال، تعتمد الصواريخ المعروفة كلها على قانون نيوتن الثالث في الحركة (لكل فعل رد فعل مساو له ومعاكس في الاتجاه)، مع ذلك يبدو أن الـ UFO المشاهدة ليس لها أي عادم من أي نوع. وستتجاوز قوى الجاذبية g الناجمة عن حركة الصحون الطائرة جيئة وذهابا مائة مرة قوة الجاذبية على الأرض - ستكون قوى الجاذبية g كافية لتسطيح أي مخلوق على الأرض.

هل يمكن تفسير مواصفات الـ UFOs هذه باستخدام العلم الحديث؟ في أفلام مثل فيلم «الأرض مقابل الصحون الطائرة»(*) افترض دوما أن هناك كائنات غريبة تقود هذه السفن. لكن الأكثر احتمالا هو أن تقاد هذه السفن من دون ملاحين (أو أنها تقاد من كائن نصفه ميكانيكي والنصف الآخر عضوي). وسيفسر هذا كيف يمكن للطائرة أن تنفذ نماذج طيران تولد قوى جاذبية g يمكنها عادة تحطيم أي كائن بشري.

تدل سفينة قادرة على وقف عمل سيارة وتتحرك بصمت في الهواء على أنها تقاد بالمغناطيسية. لكن المشكلة بالنسبة للقيادة بالمغناطيسية هي أن المغانط تأتي دوما على شكل قطبين: قطب شمالي وقطب جنوبي. لو وضعت مغناطيسا في الحقل المغناطيسي الأرضي فسيتأرجح (مثل إبرة مغناطيس) بدلا من أن يرتفع في الهواء مثل الـ UFO: بينما يتحرك القطب الشمالي في جهة يتحرك القطب الجنوبي في اتجاه معاكس، وبالتالي يتأرجح المغناطيس ولا يذهب في أي اتجاه.

سيكون أحد الحلول الممكنة لهذه المشكلة استخدام «أقطاب أحادية»، أي مغانط بقطب وحيد إما شمالي أو جنوبي. لو كسرت مغناطيسا عادة في منتصفه فلن تحصل على مغناطيس بقطب أحادي بل يصبح كل نصف من المغناطيس الأصلي مغناطيسا بحد ذاته بقطبه الشمالي وقطبه الجنوبي، أي أنه يصبح مغناطيسا ثنائي القطب. ولذا إذا تابعت تحطيم مغناطيس ما فستحصل دوما على أزواج من الأقطاب الشمالية والجنوبية. (تستمر عملية تحطيم مغناطيس ثنائي القطب لصنع مغانط أصغر ثنائية القطب حتى الوصول إلى المستوى الذري حيث تكون الذرات نفسها ثنائية القطب).

(*) Earth vs. the Flying Saucers.

المشكلة بالنسبة للعلماء هي أن المغانط أحادية القطب لم تُرَ في المختبر من قبل. حاول الفيزيائيون تصوير مسـار أحـادي القطب يتحرك ضمن أجهزتهم وفشـلوا في ذلك (عدا صورة وحيدة أخذت في جامعة ستانفورد عام 1982، وهي موضوع جدل).

وعلـى الرغم من عدم رؤيـة مغانط أحادية القطـب تجريبيا، يعتقد الفيزيائيـون أن الكون امتلك وفرة من هـذه المغانط عند لحظة الانفجار الكبير. بنيـت هذه الفكرة في النظريات الكونيـة الحديثة حول الانفجار الكبير. ولكن لأن الكون تضخم بسـرعة بعد الانفجار الكبير تمددت كثافة أحاديـات القطـب خلال الكون بحيـث لا نراها في المختبـر اليوم. (في الحقيقـة، فإن عدم وجود أحاديات القطب اليوم كان الملاحظة الرئيسـة التي قـادت الفيزيائيين لاقتراح فكرة تضخم الكون. ولذا ففكرة أحاديات القطب المتبقية مؤسسة جيدا في الفيزياء).

لذلك من المعقول أن يتمكن سباق في الفضاء من حصد «مغانط أولية أحادية القطب» تركت من لحظة الانفجار الكبير برمي «شبكة» مغناطيسية واسـعة في الفضاء الخارجـي. وعندما تجمع مغانـط أحادية بما يكفي يمكنها الإبحار عبر الفضاء باسـتخدام خطوط الحقل المغناطيسي خلال المجرة، أو على كوكب، بدون خلق عادم. ولأن المغانط الأحادية هي موضوع اهتمام شديد من العديد من علماء الكون فإن وجود مثل هذه السفن يتفق بالتأكيد مع التفكير الحالي في الفيزياء.

وأخيرا، فإن أي حضارة أجنبية متقدمة بما يكفي لإرسال سفن نجمية خـلال الكون قد أتقنت بالتأكيـد التقانة النانوية. وهذا يعني أنه لا حاجة لأن تكون هذه السفن كبيرة جدا، إذ يمكن إرسال الملايين منها لاستكشاف الكواكب المأهولـة. وربما كانت الأقمار المقفرة أفضـل القواعد لمثل هذه السفن النانونية. ولو كان الأمر كذلك فلربما زارت حضارة من النوع الثالث قمرنا في الماضي بشكل مشـابه للسيناريو الموصوف في الفيلم «2001»، والـذي يمثل أكثر الأوصاف واقعيـة للقاء مع حضارة كونية. ومن المحتمل أن تكون السـفينة من دون ملاحين وروبوتيـة وموضوعة على القمر. (قد يسـتغرق الأمر قرنا آخـر قبل أن تصبح تقانتنا متقدمة بما يكفي لمسـح القمر بكامله للبحث عن شـذوذات في الإشعاع وتكون قادرة على اكتشاف دليل قديم على زيارة سابقة من قبل سفن نانوية).

لــو زار أحد بالفعــل قمرنا في الماضي، أو لــو كان موقع قاعدة تقانة نانونية، فسيفسر هذا لماذا ليس من الضروري أن تكون الـ UFOs ضخمة جــدا. لقد ازدرى بعــض العلماء الـ UFOs لأنهــا لا تنطبق على تصاميم محــركات الدفع الضخمة التي يعتبرها المهندســون اليــوم مثل محركات الاندمــاج رامجت ramjet النفاثة أو الأشــرعة الضخمــة المحركة بالليزر ومحركات النبــض النووية والتي يمكن أن يكون قطرها بالأميال. يمكن للـ UFOs أن تكــون بحجم طائرة نفاثة. ولكن لــو كانت هناك قاعدة قمرية دائمة تركت من زيارة سابقة فليس من الضروري أن تكون الـ UFOs كبيرة، ويمكــن إعادة تزويدها بالوقود من قاعدتها القمرية القريبة. لذا قد تتعلق المشاهدات بسفن استكشاف من دون ركاب أتت من قاعدة لها على القمر.

بالنظر إلى التقدم السريع في الـ SETI واكتشاف كواكب خارج مجموعة النظــام الشمســي، فقد يحدث الاتصــال بحياة كونية يفتــرض وجودها بالقرب منا خلال هذا القرن، مما يجعل مثل هذا الاتصال اســتحالة من النوع الأول. ولو كانت الحضارات الأجنبية موجودة في الفضاء الخارجي، فسيكون السؤال الواضح التالي: هل سنمتلك أبدا الوسائل للوصول إليها؟ وماذا عن مســتقبلنا البعيد، عندما تبدأ الشــمس بالتمدد وتلتهم الأرض؟ هل يقع مصيرنا حقا في النجوم؟



9

السفن النجمية

«باعتبار أن البشرية لا بد أن تهرب يوما ما من النظام الشمسي إلى النجوم القريبة لتبقى على قيد الحياة، أو أن تهلك، يبقى السؤال: كيف يمكننا الوصول إلى هناك؟»

المؤلف

«هذه الفكرة الغبية عن قذف القمر مثال على ما يمكن لاختصاص بغيض أن يدفع العلماء إلى فعله... يبدو المقترح مستحيلا في الأساس».

أي. دبليو. بيكرتون 1926

«وفق الاحتمالات كلها، لن يفنى الجزء الأرقى من البشرية - فسيهاجرون من شمس مع انتهائها إلى شمس أخرى، لذا لا توجد نهاية للحياة، أو للنبوغ، أو للكمال في البشرية. إن تقدمها مستمر للأبد».

كونستانتين إي تسيولكوفسكي،
أبو الصواريخ

يوما ما في المستقبل البعيد سيكون لنا يومنا الجميل الأخير على الأرض. وفي النهاية، بعد مليارات السنين من

الآن ستشتعل السماء. وستنتفخ الشمس وتتحول إلى جحيم مستعر يملأ السماء بكاملها ملتهمة كل شيء فيها. ومع ارتفاع درجة الحرارة على الأرض، ستغلي المحيطات وتتبخر مياهها تاركة أرضا محترقة متشققة. وستذوب الجبال في نهاية المطاف، وتتحول إلى سائل، خالقة تدفقا من الصهارة حيث كانت المدن المزدهرة في وقت ما.

ووفقا لقوانين الفيزياء، فإن هذا السيناريو المتشائم حتمي. ستموت الأرض في النهاية محترقة مع التهام الشمس لها. هذه هي قوانين الفيزياء.

ستحدث هذه الكارثة خلال الخمسة مليارات سنة القادمة. وضمن هذا المدى الزمني الكوني لا يمثل صعود الحضارات البشرية وهبوطها اهتزازات ضئيلة. وعلينا يوما ما إما أن نترك الأرض أو نموت. لذا كيف تستطيع البشرية وأحفادنا التعايش عندما تصبح الظروف على الأرض غير محتملة؟

تحسّر الفيلسوف والرياضي الإنجليزي برتراند رسل مرة [1] أنه «لا نار، ولا بطولة، ولا توهج في التفكير والشعور يمكن أن يحفظ حياة بعد القبر؛ وأن مجهود الأجيال، والإخلاص، والإلهام، وبريق عبقرية البشر جميعها مصيرها الفناء في الموت الكبير للنظام الشمسي؛ ولا بد في النهاية أن يدفن معبد إنجازات البشر كله تحت أنقاض كون مدمر...».

بالنسبة إليَّ هذا من أكثر المقاطع المكتوبة بالإنجليزية الباعثة على التفكير، لكن رسل كتب هذا المقطع في حقبة اعتبرت فيها السفن الصاروخية مستحيلة. واليوم فإن احتمال مغادرة الأرض يوما ما ليس بعيدا. قال كارل ساغان مرة إن علينا أن نصبح «سكان كوكبين». لقد قال بأن الحياة على الأرض هشة جدا بحيث يجب علينا أن ننتشر إلى كوكب واحد على الأقل غير مسكون في حالة حدوث كارثة. تتحرك الأرض وسط «صالة إطلاق نار كونية» مؤلفة من الشهب والنيازك والبقايا الأخرى التي تتحرك قرب الأرض، ويمكن للارتطام بأي منها أن يؤدي إلى هلاكنا.

الكوارث القادمة

طرح الشاعر روبرت فروست السؤال حول ما إذا كانت الأرض ستنتهي مشتعلة أم متجمدة يمكننا باستخدام قوانين الفيزياء أن نتنبأ بصورة معقولة بكيفية انتهاء العالم في حالة حدوث كارثة طبيعية. وعلى مقياس ألفي، فإن أحد الأخطار على الجنس البشري هو ظهور عصر جليدي آخر. لقد انتهى آخر عصر جليدي منذ 10000 سنة. وعندما يأتي العصر التالي بعد 10000 إلى 20000 سنة من الآن فقد يغطى معظم أمريكا الشمالية بنصف ميل من الثلج. لقد ازدهرت الحضارة خلال الحقبة الضئيلة بين عصرين جليديين عندما كانت الأرض دافئة بشكل غير عادي، لكن مثل هذه الدورة لا يمكن لها أن تستمر للأبد.

وعلى مدى ملايين السنين، كان يمكن لارتطام النيازك والشهب الضخمة بالأرض أن يسبب تأثيرا مدمرا. وقد حدث آخر ارتطام منذ 65 مليون سنة، عندما صدم جسم بعرض 6 أميال شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك، خالقا فجوة بقطر 180 ميلا، ومهلكا الديناصورات التي كانت حتى ذلك الوقت شكل الحياة المسيطر على الأرض. ومن المحتمل حدوث ارتطام كوني ضمن المدى الزمني نفسه.

وبعد مليارات السنين من الآن ستتوسع الشمس وتلتهم الأرض. وفي الحقيقة، يقدر أن الشمس ستسخن بحوالي 10 في المائة في المليار سنة القادمة، محرقة الأرض. وسوف تستهلك الأرض تماما على مدى 5 مليارات سنة، عندما تتحول شمسنا إلى نجم أحمر ضخم، وستكون الأرض في الحقيقة ضمن الغلاف الجوي للشمس.

وبعد عشرات المليارات من السنين من الآن ستموت الشمس ومجرة درب التبانة. ومع استنفاد شمسنا في النهاية لوقودها من الهيدروجين/ الهيليوم، فسوف تتقلص إلى قزم ضئيل أبيض وتبرد تدريجيا حتى تصبح كتلة من الفضلات النووية التي تتجرف في الفضاء. وسوف ترتطم مجرة درب التبانة في النهاية بمجرة أندروميدا المجاورة، والتي هي أكبر بكثير من مجرتنا. وسوف تمزق الأذرع الحلزونية لدرب التبانة، وربما ستقذف شمسنا عميقا في الفضاء. وسوف تقوم الثقوب السوداء في مركز المجرتين برقصة موت أخيرة قبل أن ترتطم وتندمج معا في النهاية.

وباعتبار أن البشرية لا بد أن تهرب يوما ما من النظام الشمسي إلى النجوم القريبة لتبقى على قيد الحياة أو أن تهلك يبقى السؤال: كيف يمكننا الوصول إلى هناك؟ فأقرب نظام نجمي، ألفا سينتوري (*)، يبعد أكثر من 4 سنوات ضوئية. ولا تستطيع الصواريخ التقليدية المدفوعة كيميائيا، وهي أساس البرنامج الفضائي الحالي، بالكاد الوصول إلى 40000 ميل في الساعة. وبهذه السرعة سيستغرق الوصول إلى أقرب نجم 70000 سنة.

وبتحليل برنامج الفضاء اليوم، فإن هناك فجوة هائلة بين قدراتنا الحالية الهزيلة ومتطلبات سفينة فضاء حقيقية تمكننا من البدء في استكشاف الكون. ومنذ استكشاف القمر أوائل السبعينيات، أرسل برنامجنا الفضائي رواد فضاء إلى مدار يبعد 300 ميل فقط فوق الأرض في المكوك الفضائي ومحطة الفضاء العالمية. لكن بحلول 2010 تخطط «ناسا» لإنهاء المكوك الفضائي لتمهد الطريق لسفينة الفضاء أوريون التي ستأخذ رواد الفضاء مرة أخرى إلى القمر بحلول 2020، بعد خمسين سنة من التوقف. وتتمثل الخطة في تشكيل قاعدة دائمة مأهولة بالبشر على سطح القمر، ويمكن بعد ذلك إطلاق رحلة بالبشر إلى المريخ.

من الواضح أنه يجب إيجاد نوع جديد من تصميم الصواريخ إذا كنا نريد الوصول إلى النجوم على الإطلاق. علينا إما زيادة قوة دفع صواريخنا أو زيادة الوقت الذي تعمل عليه. وعلى سبيل المثال، يمكن لصاروخ كيميائي ضخم أن يمتلك قوة دفع بعدة ملايين الباوندات لكنه يشتعل لبضع دقائق فقط. وبالمقابل يمكن لتصاميم صاروخية أخرى، مثل المحرك الأيوني (الموصوف في الفقرة التالية)، أن تمتلك قوة دفع صغيرة، ولكن يمكنها أن تعمل لسنوات في الفضاء الخارجي. وعندما يتعلق الأمر بالصواريخ تنتصر السلحفاة على الأرنب.

المحركات الأيونية ومحركات البلازما

على النقيض من الصواريخ الكيميائية، لا تنتج المحركات الأيونية الانفجار القوي المفاجئ الناجم عن غازات فائقة الحرارة والذي يحرك الصواريخ التقليدية. وفي الحقيقة، غالبا ما تقاس قوة دفعها بالأونصات.

(*) يسمى كذلك ألفا قنطورس.

وبوضعهـــا علـى طاولة علـــى الأرض فإنها واهنة جدا على الحركة. لكن ما ينقصهـــا من ناحية قوة الدفع تعوضه بالمدة لأنها يمكن أن تعمل لســـنوات في الفراغ بالفضاء الخارجي.

يبـــدو المحرك الأيونـــي التقليدي مثـــل أنبوب تلفاز فارغ، تســـخن «وشـــيعة» حارة بتيار كهربائي، مما يخلق حزمة من الذرات المؤينة، مثل الزينـــون، التي تخـــرج من نهاية الصاروخ. وبدلا مـــن الركوب على تيار ســـاخن متفجر من الغاز، تركب المحركات الأيونية على تيار نحيل ولكنه مستمر من الأيونات.

اختبر الدافع الأيوني NSTAR لناســـا فـــي الفضاء الخارجي على متن مســـبار الفضـــاء العميـــق 1 (Deep Space 1) الناجح الذي أطلق عام 1998. أطلق المحرك الأيوني لمدة 678 يوما مســـجلا رقما قياسيا جديدا للمحركات الأيونية. اختبرت وكالة الفضاء الأوروبية أيضا محركا أيونيا على مسبارها ســـمارت 1 (Smart 1). وتحرك أربعة محركات زينون أيونية مســـبار الفضاء الياباني هايابوسا، الذي مر قرب شهاب. وعلـــى الرغم من أنه غير مثير، إلا أن المحرك الأيوني يســـتطيع القيام بمهمات لمســـافات طويلة (ليست ملحة) بين الكواكب، وفي الحقيقة قد تستطيع المحركات الأيونية يوما ما أن تصبح الوسيلة الرئيسة للانتقال بين الكواكب.

إن النســـخة الأقوى من المحرك الأيوني هـــي محرك البلازما، مثل محرك VASIMR (صاروخ الدفع الخاص المتغير البلازما - مغناطيسي) الذي يســـتخدم تيارا قويا من البلازمـــا لتحريكه خلال الفضاء. صمم المحرك من قبل المهندس ورائد الفضاء تشانغ دياز، ويستخدم الموجات الراديوية والحقول المغناطيســـية لتسخين غاز الهيدروجين إلى الدرجة مليون مئوية. ثم تقذف البلازما فائقة الحرارة من نهاية الصاروخ معطية دفعـــا معتبرا. بنيت مســـبقا نماذج من هذا المحـــرك على الأرض على الرغم من أنه لم يرســـل أي منها إلى الآن إلى الفضاء الخارجي. ويأمل بعض المهندســـين أن يســـتخدم محرك البلازما لدفع مهمة إلى المريخ، مخفضا بذلك زمن الســـفر إلى المريخ بشكل كبير إلى عدة أشهر فقط.

تستخدم بعض التصاميم الطاقة الشمسية لإعطاء الطاقة للبلازما في المحرك. وتستخدم تصاميم أخرى الانشطار النووي (الذي يثير مخاوف أمنية لأنه يشــمل وضع كميات كبيرة من المواد المشعة في الفضاء على سفن معرضة للحوادث).

ومع ذلك، لا يملك المحرك الأيوني أو محرك البلازما الطاقة الكافية لأخذنــا إلى النجوم. ولهذا فنحن بحاجة إلى مجموعة جديدة من تصاميم المحركات. إن إحدى العقبات الصعبة في تصميم سفينة نجمية هي المقدار الهائــل من الوقود اللازم لإنجــاز الرحلة إلى أقرب نجــم، وطوال الفترة الزمنية اللازمة للسفينة للوصول إلى مقصدها البعيد.

الأشرعة الشمسية

يتمثــل أحــد المقترحــات الذي يمكنه حل هذه المشــاكل في الشــراع الشمسي. وتســتثمر الفكرة حقيقة أن أشعة الشمس تبذل ضغطا صغيرا جدا ولكنه ثابت وكاف لتحريك شراع ضخم عبر الفضاء. إن فكرة الشراع الشمســي قديمة، وتعود إلــى الفلكي العظيم يوهــان كيبلر في أطروحته سومنيوم Somnium عام 1611.

وعلى الرغم من أن الفيزياء وراء الشــراع الشمسي بسيطة، إلا أن التقدم في صنع شراع شمسي يمكن إرساله إلى الفضاء كان متقطعا. في العام 2004 اســتخدم صاروخ ياباني بنجاح نموذجين مصغرين من الأشرعة الشمسية في الفضاء. وفي عام 2005 أطلقت الجمعية الكوكبية «ســتوديوهات كوزموس» والأكاديمية الروســية للعلوم الشــراع الكوني كوزموس 1 من غواصة في بحر بارينتــس لكن الصاروخ فولنا الذي كان يحمله فشــل ولم يصل الشــراع إلى مداره (فشــلت محاولة سابقة أيضا لشراع تحت المدار عام 2001). لكن في فبراير 2006 أرسل شــراع شمسي بعرض 15 م بنجاح إلى المدار بالصاروخ الياباني M-V، على الرغم من أن الشراع فتح بشكل غير كامل.

وعلى الرغم من أن النجاح في تقانة الشــراع الشمسي كان بطيئا، إلا أن المدافعــين عنها يرون أنها يمكن أن تأخذهم إلى النجوم: بناء مجموعة ضخمة من الليزرات على القمر يمكنها إطلاق أشعة قوية من ضوء الليزر

على الشـــراع الشمسي مما يمكّنه من السفر إلى النجم الأقرب. إن فيزياء مثل هذا الشراع الشمسي للانتقال بين الكواكب صعبة حقا. فالشراع يجب أن يكون بطول مئات الأميال، ويجب أن يبنى بكامله في الفضاء الخارجي. وعلـــى المرء أن يبني آلاف الليزرات القوية علـــى القمر كل منها قادر على إطلاق الأشعة باستمرار لعقود. (في أحد التقديرات من الضروري إطلاق اشـــعة ليزرية تمتلك طاقة تعـــادل ألف مرة من النـــاتج الكلي من الطاقة لكوكب الأرض حاليا).

نظريا يمكن لشـــراع ضخم خفيف أن يسافر بسرعة تبلغ نصف سرعة الضوء. وسيســـتغرق من مثل هذا الشـــراع الشمســـي ثمان سنوات فقط للوصول إلى النجوم القريبة. إن ميزة مثل هذا النظام في الدفع أنه يستطيع اســـتخدام تقانة متوفرة، ولاحاجة لاكتشـــاف قوانين جديدة في الفيزياء لصنع مثل هذا الشـــراع الشمســـي. لكن المشـــاكل الرئيسة هي اقتصادية وتقنية. إن المشـــكلة الهندسية في صنع شراع بعرض مئات الأميال ومزود بآلاف أشعة الليزر القوية الموضوعة على القمر معقدة جدا وتتطلب تقانة قد تتوفر بعد قرن من الزمان. (إحدى المشـــاكل بالنسبة للشراع الشمسي بين الكواكب هي العودة. وعلى المرء أن يصنع بطارية ثانية من اشعة الليزر على قمر بعيد لتحريك السفينة لتعود مرة أخرى إلى الأرض. أو ربما يمكن للســـفينة أن تتأرجح بسرعة حول نجم مســـتخدمة إياه كقذيفة للحصول على ســـرعة كافية لرحلة العودة. ثم تستخدم الليزرات على القمر لتبطيء الشراع ليهبط على الأرض).

اندماج رامجت

إن مرشحي المفضل لإيصالنا إلى النجوم هو محرك الاندماج رامجت. هنـــاك وفرة مـــن الهيدروجين فـــي الكون، لذا يمكن لمحـــرك رامجت أن يلتقط الهيدروجين أثناء ســـفره في الفضاء الخارجي مما يعطيه مصدرا لا ينضب من الوقود الصاروخي. وما إن يجمع الهيدروجين حتى يســـخّن إلى ملايـــين الدرجات المئوية، مما يجعله حارا بما يكفي للاندماج مطلقا طاقة الاندماج النووي.

اقترح محرك رامجت الاندماجي من الفيزيائي روبرت بوسارد عام 1960 وأشيع بعد ذلك من قبل كارل ساغان. حسب بوسارد أن محرك رامجت يـزن حوالي 1000 طن يمكنه نظريـا الحفاظ على دفع ثابت بقوة g1، أي ما يعادل الوقوف على سطح الأرض. وإذا استطاع محرك رامجت الحفاظ على تسـارع g1 لمدة سنة واحدة فسوف يصل إلى 77 في المائة من سرعة الضوء، وهي سرعة كافية لجعل السفر بين النجوم احتمالا جديا.

من السـهل حسـاب المتطلبات لمحرك رامجت اندماجـي. أولا، نعلم متوسـط كثافة غاز الهيدروجين خلال الكون. ونسـتطيع أيضا حسـاب كمية غـاز الهيدروجين التي يجب أن تحرق تقريبا للحصول على تسـارع قدره 1 g، وتحدد هـذه الكمية بدورها حجم الجهاز «الملتقط» لجمع غاز الهيدروجين. ويسـتطيع المـرء ببضعة افتراضات معقولـة أن يظهر أنك بحاجـة إلى ملتقط بقطر 160 كم تقريبـا. وعلى الرغم من أن صنع مثل هذا الملتقط مستحيل على الأرض، فإن لبنائه في الفضاء الخارجي مشاكل أقل بسبب انعدام الوزن.

يمكن لمحرك رامجت، من حيث المبدأ، أن يحرك نفسه بلا نهاية ليصل في النهاية إلى أنظمة نجمية بعيدة في المجرة. وبما أن الزمن يتباطأ داخل الصاروخ، بحسب آينشـتاين، فمن الممكن الوصول إلى مسافات فلكية من دون اللجوء إلى وضع الركاب في حالة من الحركة المعلقة. وبعد التسـارع بمعدل 1 g لأحد عشـر عاما، بحسـب الساعات داخل السفينة النجمية، سـتصل السـفينة إلى تجمع نجم الثريا (بلياديس) الذي يبعد 400 سنة ضوئية. وخلال 23 عاما سـتصل إلى مجرة أندروميدا التي تبعد 2 مليون سـنة ضوئية عن الأرض. ونظريا، قد تستطيع السفينة الفضائية أن تصل إلـى حدود الكـون المرئي خلال عمر أحد الركاب (علـى الرغم من مرور مليارات السنين على الأرض خلال ذلك).

إن إحدى حالات عدم التأكد الرئيسـة هي مفاعل الاندماج. إن مفاعل الاندمـاج النووي ITER، الذي سـيبنى في جنوب فرنسـا، يدمج نوعين نادرين من الهيدروجين (ديوتيريوم والتريتيوم) لاسـتخلاص الطاقة. لكن

الشـــكل الأكثر توافرا فـــي الفضاء الخارجي مـــن الهيدروجين يتألف من بروتون وحيد محاط بإلكترون، لذا على مفاعل الاندماج رامجت أن يستغل تفاعل الاندمـــاج بروتون – بروتون. وعلى الرغم مـــن أن تفاعل الاندماج ديوتيريـــوم / تريتيوم قـــد درس لعقود من قبل الفيزيائيـــين، فإن اندماج بروتـــون – بروتون مفهوم بصورة أقل، ومن الأصعب إجراؤه، ويعطي طاقة أقـــل، لذا فإن اتقان التفاعـــل بروتون – بروتون الأصعب ســـيمثل تحديا تقنيا في العقود القادمة (شـــكك بعض المهندسين في إمكانية تغلب مفاعل رامجت على تأثيرات الإعاقة مع اقترابه من سرعة الضوء).

وإلى أن تحل فيزياء تفاعل الاندماج بروتون – بروتون واقتصاديته، من الصعب إجراء تقديـــرات دقيقة على جدوى الرامجت. لكن هذا التصميم على القائمة الصغيرة للمرشـــحين المحتملين لأي مهمة يفكر فيها للوصول إلى النجوم.

صاروخ كهربائي نووي

بدأت وكالـــة الطاقة النووية الأمريكية عام 1956 تنظر في الصواريخ النووية بجدية تحت «مشروع روفر» (Project Rover). ونظريا، سيستخدم مفاعل انشطار نووي لتسخين الغازات مثل الهيدروجين إلى درجات حرارة قصـــوى، ثم تطرح هذه الغـــازات خارجا من أحد أطـــراف الصاروخ بقوة مولدة قوة الدفع.

وبوجـــود خطر الانفجار في الغلاف الجوي الذي يشـــمل وقودا نوويا ســـاما، فقد وضعت النســـخ الأولى للصواريخ النووية أفقيا على ســـكك قطار، بحيـــث يمكن مراقبـــة أداء الصاروخ بعناية. اختبـــر أول صاروخ بمحرك نووي تحت مشـــروع روفر، وهو كيـــوي 1 (Kiwi 1) عام 1959 (سمي كذلك على اسم الطائر الأسترالي الذي لايطير). وفي الستينيات اشتركت ناسا مع وكالة الطاقة الذرية الأمريكية في صنع المحرك النووي لتطبيقات المحـــركات الصاروخية، والـــذي كان أول صاروخ نووي يختبر شـــاقوليا بدلا مـــن أفقي. وفي عام 1968 اختبر إشـــعال هذا الصاروخ النووي في وضع للأسفل.

كانت نتائج هذا البحث مختلطة. كانت الصواريخ معقدة جدا وغالبا حصلت أخطاء في الإطلاق. وبسبب الاهتزاز الشديد للمحرك النووي غالبا تشقق حزمة الوقود، مما مزق السفينة إلى قطع. وشكّل التآكل الناجم عن حرق الهيدروجين عند درجات حرارة عالية مشكلة دائمة. وأخيرا أغلق برنامج الصاروخ النووي عام 1972.

(ولهذه الصواريخ النووية مشكلة أخرى: خطر تفاعل نووي منفلت، كما في قنبلة نووية صغيرة. وعلى الرغم من أن محطات الطاقة النووية التجارية اليوم تعمل على وقود نووي ممدد ولا يمكنها أن تتفجر مثل قنبلة هيروشيما، إلا أن هذه الصواريخ النووية عملت على يورانيوم عالي التخصيب كي تحصل على دفع أعظم، وبالتالي يمكن أن تنفجر في تفاعل متسلسل مولدة انفجارا نوويا ضئيلا. وعندما كان برنامج الصاروخ النووي على وشك الانتهاء قرر العلماء القيام باختبار أخير. قرروا تفجير صاروخ مثل قنبلة نووية صغيرة. أزاحوا قضبان التحكم (التي تتحكم في التفاعل النووي). وذهب التفاعل إلى المرحلة فوق الحرجة، وانفجر الصاروخ في كرة نارية ملتهبة. التقط هذا التفجير المثير للصاروخ النووي في فيلم. ولم يكن الروس مرتاحين لذلك، فقد اعتبروا هذه التجربة خرقا لمعاهدة الحد من التجارب النووية التي حظرت تفجيرات قنابل نووية فوق سطح الأرض).

وخلال هذه السنوات أعاد الجيش الأمريكي من وقت لآخر زيارة الصاروخ النووي. دعي أحد المشاريع السرية الصاروخ النووي تيمبروند (Timberwind). وكان جزءا من مشروع حرب النجوم العسكري في الثمانينيات. (تم التخلي عنه بعد إعلان تفاصيل عن وجوده من قبل اتحاد العلماء الأمريكيين).

إن القلق الرئيس بالنسبة إلى صاروخ الانشطار النووي هو الأمان. وحتى بعد 50 سنة من الدخول في عصر الفضاء، مازالت الصواريخ المدفوعة كيميائيا تعاني من أخطاء كارثية في واحد في المائة من الوقت. وقد أكد فشل المكوك الفضائي تشالنجر والمكوك كولومبيا، الذي أدى إلى وفاة 14 رائد فضاء بصورة مأساوية، معدل الفشل هذا.

مع ذلك استأنفت ناسا خلال السنوات القليلة السابقة بحوثها على الصاروخ النووي لأول مرة منذ برنامج نيرفا (NERVA) في الستينيات. وفي العام 2003 عمّدت ناسا مشروعا جديدا سمي بروميثيوس (Prometheus) على اسم الإله اليوناني الذي أعطى النار لبني البشر. وفي عام 2005 موّل بروميثيوس بـ 430 مليون دولار على الرغم من أن ذلك التمويل خفض بشدة إلى 100 مليون عام 2006، ومازال مستقبل المشروع غير واضح.

الصواريخ المدفوعة نوويا

هناك احتمال آخر بعيد هو استخدام سلسلة من قنابل نووية صغيرة لدفع السفينة النجمية. في المشروع أوريون (Project Orion) تطرح القنابل النووية الصغيرة من خلف الصاروخ بالتسلسل، بحيث «تركب» السفينة على أمواج الصدم التي تصنعها هذه القنابل الهيدروجينية الصغيرة. ونظريا، يمكن لمثل هذا النظام أن يأخذ السفينة الفضائية إلى قرب سرعة الضوء. فكر ستانيسلي أولام، الذي ساعد في تصميم القنابل الهيدروجينية الأولى، بها عام 1947، وطورت الفكرة أكثر من قبل تيد تيلر (أحد المصممين الرئيسيين للرؤوس النووية للجيش الأمريكي) والفيزيائي فريمان دايسن من معهد الدراسات العليا في برنستون.

وفي أواخر الخمسينيات والستينيات أجريت حسابات مفصلة لهذا الصاروخ الكوكبي. قدر أن مثل هذه السفينة النجمية يمكن أن تصل إلى بلوتو وتعود منه خلال عام بسرعة قصوى تبلغ 10 في المائة من سرعة الضوء. ولكن حتى عند هذه السرعة، سيستغرق الوصول إلى أقرب نجم 44 سنة. خمن العلماء أن سفينة فضائية مدفوعة بمثل هذا الصاروخ عليها أن تسافر لعدة قرون بركاب من عدة أجيال، بحيث يولد الأولاد ويقضون حياتهم كلها على متن السفينة الفضائية ليتمكن أحفادهم من الوصول إلى النجوم القريبة.

في عـــام 1959 أصدرت جنـــرال أتوميكس(*) تقريـــرا قدرت فيه حجم الســـفينة الفضائية أوريون. دعيت النسخة الأكبر «سوبر أوريون» وتـــزن 8 ملايين طن ولها قطر 400 متر، وتدفع بأكثر من 1000 قنبلة هيدروجينية.

لكن إحدى المشاكل الرئيسة بالنسبة إلى المشروع هي احتمال التلوث بالهطول النووي خلال عملية الإطلاق. قدر ديسون أن السقوط النووي من كل إطلاق يمكن أن يسبب سرطانات مميتة لـ 10 أشخاص. إضافة إلى ذلك فـــإن النبضة الالكترومغناطيســـية (EMP) لمثل هذا الإطلاق ســـتكون ضخمة جدا بحيث تســـبب انقطاعا هائلا للتيار في الأنظمة الكهربائية القريبة.

مثـــل التوقيع على الحـــد من التجـــارب النووية عـــام 1963 الضربة القاضية للمشروع. وأخيرا استسلم مصمم القنابل النووية تيد تيلر، الذي كان كان المحرك الرئيس للمشـــروع. (أســـر مرة إلي بأن أمله في المشروع خاب في النهاية عندما أدرك أن الفيزياء وراء قنابل نووية صغيرة يمكن أن تستخدم أيضا من قبل الارهابيين لصنع قنابل نووية محمولة. وعلى الرغم من أن المشـــورع ألغي لأنه اعتبر خطيرا جدا، إلا أن اســـمه بقي حيا على ســـفينة الفضاء أوريون، التي اختارتها ناســـا لتحل محل المكوك الفضائي في العام 2010).

أعيد إحيـــاء فكرة الصـــاروخ المدفوع نوويا لفتـــرة قصيرة من قبل جمعية ما بين الكواكب البريطانية من عام 1973 حتى عام 1978، مع المشروع دادالس Project Daedlus، وهو دراسة أولية لمعرفة ما إذا كان من الممكن بناء ســـفينة نجمية يمكنها أن تصـــل إلى النجم بارنارد على بعد 5.9 ســـنة ضوئية من الأرض. (اختير النجم بارنارد لأن من الممكن أن يكون له كوكب. ومنذ ذلك الوقت جمع الفلكيان جيل تارتر ومارغريت تيرنبـــول قائمة من 17129 نجما قريبا يمكن أن تكون لها كواكب تدعم الحياة. وكان أكثر هذه النجوم وعدا هو ابســـلون اندي Epsilon Indi، وعلى بعد 11.8 سنة ضوئية).

(*) General Atomics، هي الشركات الرائدة في مجال الفيزياء النووية والدفاع. تأسست عام 1955 بغرض «تسخير قوة التكنولوجيا النووية لمصلحة البشرية» [المحررة].

كانت السفينة الصاروخية المخططة للمشروع دادالس ضخمة جدا بحيث توجب بناؤها في الفضاء الخارجي. وكانت ستزن 54000 طن، معظمه عبارة عن وقود صاروخي، ويمكنها أن تصل إلى 7.1 في المائة من سرعة الضوء بحمل 450 طنا. وعلى النقيض من المشروع أوريون، الذي استخدم قنابل انشطار نووية صغيرة، سيستخدم مشروع دادالس قنابل هيدروجينية صغيرة تعمل بخليط من الديوتيريوم/ هيليوم 3 يشعل بأشعة إلكترونية. وبسبب المشاكل التقنية الهائلة التي تواجهه وأيضا القلق حول نظام تحريكه النووي، فقد طرح المشروع جانبا أيضا ولفترة غير محدودة.

الاستجابة المميزة وكفاءة المحرك

يتحدث المهندسون أحيانا عن «استجابة مميزة» تمكننا من تصنيف كفاءة التصاميم المختلفة للمحرك. تعرف «الاستجابة المميزة» على أنها التغير في العزم بالنسبة إلى كتلة الوقود المحرك. وبالتالي كلما كان المحرك أكفأ، قل الوقود اللازم لدفعه إلى الفضاء. إن العزم بدوره هو نتاج القوة التي تعمل على فترة زمنية معينة. وعلى الرغم من أن للصواريخ الكيميائية اندفاعا قويا، فإنه يدوم بضع دقائق فقط، وبالتالي فلها استجابة مميزة ضئيلة. وتستطيع المحركات الأيونية أن تعمل سنوات، ومن ثم فلها استجابة مميزة عالية على الرغم من أن اندفاعها بسيط جدا.

تقاس الاستجابة المميزة بالثواني. ويمكن أن تكون لصاروخ كيميائي استجابة مميزة من 400 - 500 ثانية. وتبلغ الاستجابة المميزة لمحرك المكوك الفضائي 453 ثانية. (أعلى استجابة مميزة تم الوصول إليها لصاروخ كيميائي هي 542 ثانية، باستخدام وقود خليط من الهيدروجين والليثيوم والفلورين). أما الاستجابة المميزة للمحرك الأيوني سمارت 1 فهي 1640 ثانية. ووصل الصاروخ النووي إلى استجابة مميزة بحدود 850 ثانية.

وستكون الاستجابة المميزة العظمى المحتملة لصاروخ يصل إلى سرعة الضوء. وستكون استجابته المميزة بحدود 30 مليون. وفيما يلي جدول يظهر الاستجابات المميزة لأنواع مختلفة من محركات الصواريخ.

نوع محرك الصاروخ	الاستجابة المميزة له
صاروخ بوقود صلب	250
صاروخ بوقود سائل	450
محرك أيوني	3000
VASIMRمحرك بلازما	إلى 100030000
صاروخ انشطار نووي	إلى 8001000
صاروخ باندماج نووي	إلى 2500200000
صاروخ نبضي نووي	إلى 1 مليون10000
صاروخ مضاد المادة	مليون وحتى 10 مليون1

(من حيث المبدأ، فإن الاستجابة المميزة للأشرعة الليزرية ومحركات الرامجت لامتناهية، بسبب عدم احتوائها على وقود صاروخي، على الرغم من أن لها مشاكلها الخاصة بها).

المصاعد الفضائية

إن أحد الاعتراضات الجدية على العديد من تصاميم الصواريخ هذه أنها ضخمة وثقيلة جدا بحيث لا يمكن بناؤها على سطح الأرض. وهذا هو سبب اقتراح بعض العلماء أن تبنى في الفضاء الخارجي حيث يجعل انعدام الوزن من الممكن لرواد الفضاء أن يرفعوا أجساما ثقيلة جدا بكل بساطة. لكن النقاد اليوم يشيرون إلى التكاليف الباهظة للتركيب في الفضاء الخارجي. وعلى سبيل المثال، تحتاج سفينة الفضاء الدولية إلى 100 إطلاق لمهمات مكوكية لإنهاء تركيبها، وارتفعت التكلفة بشكل كبير إلى 100 بليون دولار. ولذا فهي أكثر المشاريع العلمية تكلفة في التاريخ كله. وسيكلف بناء شراع فضائي بين النجوم أو ملتقط رامجت في الفضاء الخارجي أكثر من هذا بعدة مرات.

ولكن كما ولع كاتب قصص الخيال العلمي روبرت هينلين بالقول: إذا استطعت أن تبنيها عند 160 كم فوق الأرض، فإنك في منتصف الطريق لأي مكان في النظام الشمسي. ويعود هذا إلى أن تكلفة الـ160 كم الأولى

من أي إطـــلاق، عندما يجاهد الصاروخ للهروب مـــن حقل ثقالة الأرض، أكثر بكثير. وبعد هذه المرحلة يمكن لســـفينة صاروخية أن تبحر إلى بلوتو وما بعده.

إن إحدى الطرق لتخفيض التكلفة بشكل كبير في المستقبل هي بتطوير المصعـــد الفضائي. إن فكرة التســـلق على حبل إلى الســـماء فكرة قديمة، وعلى ســـبيل المثال كما في القصة الخرافية «جاك وشجرة الفاصوليا»(*)، لكنها قد تصبح حقيقة لو أرسل الحبل إلى الفضاء. وعندها ستلغي القوة النابـــذة الناجمة عـــن دوران الأرض قوة الثقالة بحيث لا يســـقط الحبل. وســـيصعد الحبل بصورة سحرية شـــاقوليا في الهواء ويختفي في الغيوم. (فكـــر في كرة تدور حول خيط. تبدو الكـــرة وهي تتحدى جاذبية الأرض، لأن القوة النابذة تدفعها بعيدا من مركز الدوران. وبالطريقة نفسها سيعلق حبل طويل جدا في الهواء بســـبب دوران الأرض). ولا حاجة إلى أي شيء كي يبقى الحبل معلقا ســـوى دوران الأرض. ويمكن لشـــخص ما نظريا أن يتســـلق الحبل ويصعد بواسطته إلى الفضاء. وأحيانا يعطى طلبة الجامعة الذين يدرســـون الفيزياء في جامعة ســـيتي في نيويورك مســـألة لحساب الشـــد في مثل هذا الحبل. ومن الســـهل تبيان أن الشد في الحبل سيكون كافيا لقطع حتى كابل فولاذي، وهذا هو السبب في أن بناء مصعد فضائي اعتبر لفترة طويلة أمرا مستحيلا.

كان العالـــم الروســـي ذو الرؤية كونســـتانتين تسيولكوفســـكي هو أول مـــن درس فكـــرة المصعد الفضائـــي بجدية. ففـــي العـــام 1895 تصور تسيولكوفســـكي، مســـتلهما برج إيفـــل، برجا يصعد إلـــى الفضاء، رابطا الأرض بـ «قلعة ســـماوية»، على أن يبنى من أسفل إلى أعلى الأرض، ليتمم المهندسون بناءه متمددا ببطء إلى السماء.

وفـــي عـــام 1957 اقترح العالم الروســـي يوري أرتســـوتانوف حلا جديدا، بأن يبنى المصعد الفضائي بالطريقة المعاكسة، بدءا من الفضاء الخارجي، أي من الأعلى للأســـفل. تصور قمرا صناعيا يدور في مدار ثابت بالنســـبة إلى الأرض يبعـــد 36000 ميل في الفضاء، بحيث يبدو

(*) Jack and the Beansalk.

ثابتـــا، يمكن إلقاء حبل منه إلـــى الأرض. ثم يثبت هذا الحبل بالأرض. ويجب أن تتحمل مادة المصعد الفضائي حوالي 60 - 100 غيغاباسكال (gpa) من الشـــد. بينما ينكســـر الفولاذ عند نحو 2 غيغاباسكال، مما يجعل الفكرة مستحيلة.

وصلت فكرة المصعد الفضائي إلى جمهور أوســع بكثير مع نشـــر آرثر ســـي. كلارك لروايته «ينابيع الجنة» (*) عام 1979 وروبرت هاينلاين عام 1982 لروايته «الجمعة» (**). لكن من دون أي تقدم فقد اختفت الفكرة.

تغيرت المعادلة كثيرا مع تطوير الكيميائيين للأنابيب النانونية الكربونية. أثيـــر الاهتمام فجأة بعمل ســـوميو ايجيما من شـــركو نيبون للكهرباء عام 1991 (على الرغم من أن اكتشـــاف الأنابيب النانونية الكربونية يعود إلى الخمســـينيات، فإنها أهملت في ذلك الوقت). ومـــن الملحوظ أن الأنابيب النانونيـــة أقـــوى بكثير من الكابـــلات الفولاذية وأخف منهـــا بكثير. وفي الحقيقـــة فإن قوتها تتجاوز القوة اللازمـــة للحفاظ على مصعد فضائي. ويعتقد العلماء أن نســـيج الأنبوب النانوي الكربوني يمكنه أن يتحمل 120 غيغاباســـكال من الضغط، وهو أعلى من نقطة الكســـر للفولاذ. لقد أعاد هذا الاكتشاف إحياء المحاولات لصنع مصعد فضائي.

وفي عام 1999 أولت ناســـا اهتمامـــا جديا بالمصعد الفضائي بتصور شـــريط بعرض 1 متر وبطول 47000 كم قـــادر على نقل حوالي 15 طنا مـــن الوزن إلى مـــدار حول الأرض. ويمكن لمثل هـــذا المصعد الفضائي أن يغيّر اقتصاديات السفر في الفضاء خلال عشية وضحاها. ويمكن خفض الكلفة بعامل 10 آلاف، وهو تغير ثوري مدهش.

حاليـــا، يكلف إرســـال 1 باوند من مادة ما إلـــى مدار حول الأرض 10 آلاف دولار أو أكثـــر (وهي تماثل تكلفـــة الذهب، أونصة لأونصة، تقريبا). وتكلف كل مهمة فضائية مكوكية، على سبيل المثال، حتى 700 مليون دولار. ويمكن لمصعد فضائي أن يخفض الكلفة حتى 1 دولار لكل 1 باوند. ويمكن لمثل هـــذا التخفيض الجذري لكلفة البرنامج الفضائـــي أن يغير الطريقة

(*) The Fountains of Paradise.

(**) Friday.

التي ننظر فيها إلى السفر في الفضاء بصورة هائلة. وبكبسة بسيطة على زر المصعـــد يمكن للمرء، من حيث المبدأ، أن يســـتقل مصعدا إلى الفضاء الخارجي بثمن تذكرة الطائرة.

لكن يجب حــل عقبات عملية صعبة قبل بنــاء مصعد فضائي يمكننا بواسطته الصعود إلى السماء. يبلغ طول أنسجة الأنابيب النانونية الكربونية النقية المصنوعة في المختبر حاليا نحو 15 ملليمتر. ولصنع مصعد فضائي على المرء أن يصنع كابلات من أنابيب نانونية كربونية بطول آلاف الأميال. وعلى الرغم من أن هذا عبارة عن مشكلة تقنية بحتة، فإنها مشكلة عنيدة وصعبة ويجب حلها إذا أردنا صنع مصعد فضائي. ومع ذلك، يعتقد العديد من العلماء أننا سنســتطيع إتقان التقانة اللازمة لصنع كابلات طويلة من الأنابيب النانونية الكربونية خلال عدة عقود.

ثانيا يمكن للشوائب الميكروية في الأنابيب النانونية الكربونية أن تجعل مــن صنع كابل طويل أمرا صعبا. ويقــدر نيكولا بوغانو، من جامعة العلوم التطبيقيــة في تورينو، بإيطاليا، أنه لو احتوت الأنابيب النانونية الكربونية ولــو ذرة واحــدة غير مرتبة فإن قوتها ســتنخفض بمقــدار 30 في المائة . وبشــكل عام يمكن للتشــوهات بالمقياس الذري أن تخفــض قوة الكابل النانونــي بـــ 70 في المائة ، ما يجعلــه أقل من قوة الشــد الأدنى بالغيغا باسكال اللازمة لدعم مصعد فضائي.

ولتحفيز الابتكار في المصعد الفضائي تمول ناســا جائزتين (صممت الجائزتــان على غرار جائــزة أنصاري(*) بقيمة 10 ملايــين دولار، التي حفزت بنجاح المخترعين الأصيلين لصنع صواريخ تجارية قادرة على حمل ركاب إلــى حافة الفضاء. فازت ســفينة الفضاء واحــد Spaceship one بهذه الجائزة). تدعى الجائزتان اللتان تعرضهما ناســا تحدي قوة الحزمة (Beam Power Challenge) وتحــدي المتانــة (Tether challenge). في تحدي قوة الحزمة على الفرق أن ترســل آلــة ميكانيكية تزن 25 كغ على الأقل عبر حبل معلق من رافعة بسرعة 1 متر في الثانية لمسافة 50 مترا.

(*) Ansari Prize: عرفت عند تأسيســها عام 1996 بجائزة اكس (X Prize)، قبل أن يتغير اســمها إلى «أنصاري» بعد تبرع سخي من الأمريكيين الإيرانيين أنوشه وأمير أنصاري. وأنوشه هي أول امرأة تذهب في رحلة «سياحية» إلى الفضاء، وذلك بتمويل ذاتي [المحررة].

قد يبدو هذا سهلا، لكن المشكلة هي أن على الجهاز ألا يستخدم الوقود أو البطاريات أو حبلا كهربائيا. وبدلا من ذلك يجب دفع جهاز الروبوت بأشعة شمسية وعاكسات شمسية وليزرات أو مصادر طاقة ميكروية أكثر ملاءمة للاستخدام في الفضاء الخارجي.

وفي تحدي المتانة على الفرق أن تنتج حبالا بطول 2 متر لا تزن أكثر من 2 غرام، ويجب أن تحمل 50 في المائة أكثر من أفضل حبل أنتج في العام السابق. يهدف التحدي إلى تحفيز البحث العلمي لتطوير مواد خفيفة وقوية في الوقت نفسه لتمتد 100 ألف كم في الفضاء. وهناك جوائز بقيمة 150 ألف دولار و40 ألف دولار و10 آلاف دولار. (لبيان صعوبة التحدي، فلم يفز أحد بالمسابقة في عامها الأول في عام 2005).

على الرغم من أن مصعدا فضائيا ناجحا يمكنه أن يحدث تغييرا جذريا في برنامج الفضاء، فإن لمثل هذه الآلات أخطارها الخاصة بها. على سبيل المثال، يتغير مسار الأقمار الصنعية بالقرب من الأرض باستمرار أثناء دورانها حول الأرض (ويحدث هذا لأن الأرض تدور تحتها). وهذا يعني أن هذه الأقمار سترتطم في النهاية بالمصعد الفضائي بسرعة 18 ألف ميل في الساعة، وهي سرعة كافية لقطع الحبل. ولمنع مثل هذه الكارثة يجب تصميم الأقمار الصنعية في المستقبل بحيث تحتوي على صواريخ صغيرة، بحيث تناور حول المصعد الفضائي، أو أن تزود حبال المصعد بصواريخ صغيرة تجنبه الارتطام بالأقمار الصناعية المارة بالقرب منه.

وأيضا فإن الارتطام بالشهب الصغيرة مشكلة أخرى. فالمصعد الفضائي موجود فوق الغلاف الجوي الذي يحمينا عادة من مثل هذه الشهب. وبما أنه لا يمكن التنبؤ بالارتطامات بالشهب، فيجب تزويد المصعد الفضائي بدرع إضافي، وربما بأجهزة أمان ضد التعطل. ويمكن أن تظهر مشاكل من تأثيرات نماذج الطقس العاصف على الأرض، مثل الأعاصير وأمواج المد والعواصف.

تأثير المقلاع (slingshot)

الطريقة الجديدة الأخرى لرمي جسم بسرعة قريبة من سرعة الضوء هي باستخدام تأثير المقلاع. عندما ترسل مسابر فضائية إلى الكواكب

الأخرى تقوم ناســا أحيانا بتدويرها حول كوكب مجاور، بحيث تســتخدم تأثير المقلاع لزيادة ســرعتها. وتوفر ناسا بهذه الطريقة الكثير من الوقود الصاروخي المكلف. وهذه هي الطريقة التي استطاعت بها سفينة الفضاء فويجــر (Voyager) من الوصول إلى نبتون، الــذي يقع بالقرب من حافة النظام الشمسي.

اقترح فيزيائي برنســتون فريمان دايســون أننا قد نجد في المستقبل البعيد نجمين نيوتونيين يدوران كلاهما حول الآخر بعضا بســرعة عالية. وبالســفر بالقرب من أحدهما يمكننا أن نــدور حوله ثم نقذف بعيدا في الفضاء بســرعة تقترب من ثلث ســرعة الضوء. وفي الحقيقة، نكون قد اســتخدمنا تأثير المقلاع لإعطائنا دفعا إضافيا يصل إلى ســرعة الضوء تقريبا. نظريا، من الممكن أن ينجح ذلك.

اقترح آخرون أن ندور حول شمســنا للتســارع إلى سرعة تقارب سرعة الضوء. اســتخدمت هذه الطريقة في الحقيقة في مسلســل ســتار ترك 4 الرحلة نحو الوطن، عندما اختطف ركاب السفينة انتربرايز سفينة كلينغون ثم أســرعوا بالقرب من الشمس من أجل أن يكسروا حاجز الضوء ويعودوا في الوقت المناســب. وفي فيلم «عندمــا تصطدم العوالم» (When Worlds Collide) يهرب العلماء من الأرض عندما تهدد بالارتطام مع نيزك على متن ناقلة متدحرجة ضخمة. تنزل ســفينة صاروخية الناقلة المتدحرجة، محرزة سرعة عالية، ثم تدور حول قاعدة الناقلة المتدحرجة للاندفاع نحو الفضاء.

ومــع ذلك، لن يعمل في الحقيقة أي من هذه الطرق التي تســتخدم الجاذبية لدفعنا إلى الفضاء. (بســبب مبــدأ حفاظ الطاقة، فإن نزولنا على ناقلة متدحرجة والعودة منها يجعلنا نحصل على الســرعة نفســها التــي بدأنا منهــا، وبالتالي ليس هناك ربح فــي الطاقة على الإطلاق. وبالمثل، فالتجوال حول شــمس ثابتة يجعلنا نحصل على السرعة نفسها التي بدأنا منها أصلا). يرجع الســبب في أن طريقة دايسون باستخدام نجمــين نيوترينيين قد تنجــح إلى أن النجوم النيوترونية تدور بســرعة عالية جدا. وتحصل ســفينة فضائية تستخدم تأثير المقلاع على طاقتها مــن حركة كوكب أو نجم. ولــو كانت هذه ثابتة فلن يكــون هناك تأثير

المقلاع على الإطلاق. وعلى الرغم من أن اقتراح دايسون يمكن أن ينجح فإنه لا يساعد العلماء اليوم، لأننا سنحتاج إلى سفينة فضائية لزيارة النجوم النيوترونية الدوارة.

مدافع سككية إلى السماء

هناك طريقة مبتكرة أخرى لرمي الأجسام إلى الفضاء بسرعات مذهلة، وهي المدفع السككي (Rail Gun) الذي أبرزه آرثر سي. كلارك وآخرون في قصص الخيال العلمي، والذي فحص بجد كجزء من الدرع الصاروخية في حرب النجوم. يستخدم المدفع السككي قوة الكهرومغناطيسية بدلا من استخدام وقود صاروخي أو مسحوق (بودرة) متفجر لإطلاق صاروخ إلى الفضاء بسرعة عالية.

يتألف المدفع السككي في شكله الأبسط من سلكين أو سكتين متوازيتين، وبقذيفة تركب فوق السلكين مشكلة جسما على شكل الحرف U. وحتى مايكل فارادي كان يعرف أن تيارا كهربائيا سيولد قوة عندما يوضع في حقل مغناطيسي. (وهذا في الحقيقة هو أساس المحركات الكهربائية). وبإرسال ملايين الأمبيرات من الطاقة الكهربائية في هذه الأسلاك، وخلال القذيفة، يتم خلق حقل مغناطيسي ضخم حول السكتين. وبعد ذلك يحرك هذا الحقل المغناطيسي القذيفة على السكتين بسرعات عالية جدا.

أطلقت مدافع السكك بنجاح أجساما معدنية بسرعات عالية جدا إلى مسافات قصيرة. ومن الملاحظ نظريا أن باستطاعة مدفع سككي أن يطلق قذيفة معدنية بسرعة 18 ألف ميل في الساعة، بحيث يصل إلى مدار حول الأرض. ومن حيث المبدأ، يمكن استبدال أسطول صواريخ ناسا بكامله بمدافع سككية يمكنها إطلاق حمولات إلى مدارات حول الأرض.

يتمتع المدفع السككي بميزة مهمة على الصواريخ والمدافع الكيميائية. بالنسبة إلى بندقية، تحدد السرعة النهائية التي يمكن للغازات المتمددة أن تدفع رصاصة بها بسرعة أمواج الصدم. وعلى الرغم من أن جول فيرن

استخدم مسحوق (بودرة) مدفع لقذف رواد الفضاء إلى القمر في قصته الكلاسيكية «من الأرض إلى القمر»، يمكن للمرء أن يحسب أن السرعة النهائية التي يمكن للمرء الحصول عليها ببودرة المدفع هي جزء فقط من السرعة اللازمة لإرسال شخص ما إلى القمر. لكن المدافع السككية ليست محددة بسرعة أمواج الصدم.

لكن هناك مشاكل بالنسبة إلى المدفع السككي. فهو يسرّع الأجسام بسرعة كبيرة جدا، بحيث أنها عادة تتصفح عند اصطدامها بالهواء. وقد تشوهت الحمولات بشدة أثناء عملية قذفها من ماسورة مدفع سككي، لأن اصطدام القذيفة بالهواء يماثل اصطدامها بحائط من القرميد. إضافة لذلك، فإن التسارع الضخم للحمولة على مسار السكة كاف لتشويهها. ويجب استبدال السكك بصورة متكررة بسبب العطل الذي تسببه القذيفة. وأكثر من ذلك، فإن قوى الجاذبية g على رائد الفضاء ستكون كافية لقتله وتحطيم عظامه كلها بسهولة.

يتمثل أحد المقترحات في تركيب مدفع سككي على القمر. ويمكن لقذيفة مدفع سككي خارج الغلاف الجوي للأرض أن تتسارع من دون جهد خلال الفراغ في الفضاء الخارجي. ولكن حتى في هذه الحالة، فإن التسارع الكبير المتولد من المدفع السككي قد يخرب حمولته. تعتبر المدافع السككية بمعنى ما نقيض الأشرعة الليزرية التي تبني سرعتها النهائية بلطف خلال فترة طويلة من الزمن. إن المدافع السككية محدودة لأنها تحزم قدرا كبيرا من الطاقة في حيز ضيق.

ستكون المدافع السككية التي يمكنها إطلاق أجسام إلى النجوم القريبة مكلفة جدا. ووفق أحد المقترحات، سيبنى المدفع السككي في الفضاء الخارجي ويمتد إلى ثلثي المسافة بين الأرض والشمس. وسوف يخزن الطاقة من الشمس ثم يفرغها فجأة في المدفع السككي مرسلا حملا يزن 10 طن بسرعة تصل إلى ثلث سرعة الضوء بتسارع يعادل 5000 g. ليس من المستغرب ألا تتحمل سوى أقوى الحمولات الروبوتية مثل هذه التسارعات الهائلة.

مخاطر السفر عبر الفضاء

بالطبع، ليس السفر عبر الفضاء مثل نزهة في يوم الأحد. هناك مخاطر كبيرة تنتظر الطيران المأهول بالبشر إلى المريخ وما بعده. فالحياة على الأرض ظلت محمية لملايين السنين: طبقة الأوزون تحمي الأرض من الأشعة فوق البنفسجية، وحقل الأرض المغناطيسي يحميها من الأشعة الكونية، والانفجارات الشمسية والغلاف الجوي السميك يحميها من النيازك التي تحترق عند دخولها. لقد اعتدنا على درجات الحرارة وضغوط الهواء المعتدلة الموجودة على الأرض. لكن علينا في الفضاء العميق أن نواجه حقيقة أن معظم الكون يعج بأحزمة شعاعية مميتة وبمجموعات من نيازك مهلكة.

المشكلة الأولى التي يجب حلها في سفر ممتد عبر الفضاء هي انعدام الوزن. أظهرت الدراسات التي قام بها الروس على انعدام الوزن أن الجسم يفقد عناصر ومواد كيميائية نادرة في الفضاء على المدى الطويل بسرعة أكبر مما هو متوقع. وحتى بوجود برنامج اختبار صارم، ضمرت عظام رواد الفضاء الروس وعضلاتهم جدا بعد سنة في محطة الفضاء، بحيث إنهم بالكاد استطاعوا الزحف كالأطفال عندما عادوا لأول مرة إلى الأرض. ويبدو أن ضمور العضلات وتردي العمود الفقري وتردي إنتاج خلايا الدم الحمراء وانخفاض استجابة المناعة وتدني عمل النظام الشراييني نتائج محتمة لانعدام الوزن لفترة طويلة في الفضاء.

تدفع الرحلات للمريخ، والتي تستغرق من عدة أشهر إلى سنة، تحمّل رواد الفضاء إلى حدوده القصوى. وبالنسبة إلى المهمات طويلة الأمد إلى النجوم القريبة فإن هذه المشكلة مميتة. وعلى السفن النجمية في المستقبل أن تدور حول نفسها خالقة جاذبية اصطناعية من خلال القوة النابذة من أجل دعم حياة البشر. وسيزيد هذا التعديل من كلفة السفن النجمية وتعقيدها في المستقبل.

ثانيا: قد يتطلب وجود شهب ميكروية تسير في الفضاء بعدة عشرات آلاف الأميال في الساعة تزويد سفن الفضاء بدروع إضافية. لقد أظهر الفحص الدقيق لهيكل مكوك الفضاء دليلا على صدمات عدة صغيرة،

لكنهـا يمكن أن تكـون قاتلة، من شـهب ميكروية، وربما كان على سـفن الفضاء في المستقبل أن تدعم بإطار ثنائي لحماية ركاب السفينة.

إن مستويات الإشعاع في الفضاء العميق أعلى بكثير مما اعتقد سابقا. وعلى سبيل المثال، يمكن للشعل الشمسية خلال دورة البقع الشمسية التي تمتد 11 سـنة، أن ترسل كميات ضخمة من البلازما القاتلة نحو الأرض. أجبرت هـذه الظاهرة في الماضي رواد الفضاء فـي محطة الفضاء على البحث عن حماية خاصة ضد التيار القاتل من الجسـيمات تحت الذرية. أما المشـي في الفضاء في أثناء هذه الانفجارات فسـيكون مميتا. (حتى أخذ رحلة بسيطة من لوس انجلوس إلى نيويورك على سبيل المثال يعرضنا لحوالي 1 ميللي ريم من الإشعاع لكل ساعة طيران. ونتعرض خلال الرحلة لما يعادل تصويرا للأسـنان بأشـعة اكس). وفي الفضـاء العميق، حيث لا يحمينـا الغـلاف الجوي ولا الحقل المغناطيسـي للأرض، فـإن التعرض للإشعاع يمكن أن يشكل مشكلة خطيرة.

الحركة المعلقة

أحد الانتقادات الملحة لتصاميم الصواريخ التي عرضتها حتى الآن أنه حتى لو بنينا مثل هذه السـفن النجمية فسوف يستغرق الوقت عقودا إلى قـرون للوصول إلى النجوم القريبة، لذا يجب أن تشـمل مثل هذه الرحلة ركابا لعدة أجيال، بحيث يصل الأحفاد إلى المقصد الأخير.

أحد الحلول التـي اقترحت في أفلام مثل الغريـب (Alien) وكوكب القـردة (Planet of the Apes) أن يخضـع مسـافرو الفضـاء إلى حركة معلقة، أي أن تخفض درجة حرارة أجسـامهم بعناية حتى تتوقف وظائفها تقريبـا. وهذا مـا تفعله الحيوانات التي تدخل في سـبات كل عام تقريبا خلال فصل الشـتاء. ويمكن لبعض الضفادع والأسـماك أن تتجمد ضمن لوح جليدي، ومع ذلك تعود للعمل عندما ترتفع درجات الحرارة.

يعتقد علماء الأحياء الذين درسـوا هذه الظاهرة الغريبة أن لدى هذه الحيوانات الإمكانية لصنع مـادة طبيعية «مضادة للتجمد» يمكنها خفض درجة تجمد الماء. ويتألف مضاد التجمد الطبيعي هذا من بروتينات معينة

في الأســماك ومن الغلوكوز في الضفادع. وتستطيع الأسماك بغمر دمها بهذه البروتينات أن تعيش في القطب الشمالي عند – 2 درجة مئوية. لقد طورت الضفادع إمكانياتها للحفاظ على مســتويات مرتفعة من الغلوكوز، وبالتالي منع تشــكل البلورات الثلجية. وعلى الرغم من أن أجســامها قد تتجمد من الخارج، إلا أنها لا تتجمد من الداخل، وبذلك تســمح لأعضاء جسمها بالاستمرار في العمل، وإن كان بمعدل منخفض.

لكن هناك مشــاكل في أقلمة هذه الإمكانية على الثدييات. فعندما تتجمد أنســجة البشــر، تبدأ بلورات الجليد بالتشــكل داخل الخلايــا. ومع نمو هذه البلــورات الجليدية، يمكنهــا التغلغل خلال جدران الخلايــا وتحطيمها. (على المشــاهير الذين يودون أن يجمدوا رؤوسهم وأجسادهم في النتروجين السائل أن يفكروا مليا قبل أن يفعلوا ذلك).

ومع ذلك، حصل تقدم أخيرا في إحداث سبات معلق محدود في ثدييات لا تدخــل عادة في طور الســبات مثــل الفئران والــكلاب. ففي عام 2005 اســتطاع علماء في جامعة بيتسبرغ إرجاع الكلاب إلى الحياة بعد أن صفيت دماؤهــا وأبدلت بمحلول بــارد – جليدي خاص. ومع أنهــا كانت ميتة طبيا لثلاث ســاعات فقد أعيدت إلى الحياة بعد أن أعيد تشــغيل قلوبها. (وعلى الرغــم من أن معظم الكلاب كانت ســليمة بعد هــذه العملية، إلا أن بعضها عانى من خلل في الدماغ).

اســتطاع العلماء في السنة نفسها وضع فأر في غرفة تحتوي على كبريتيد الهيدروجين، ونجحوا في خفض درجة حرارة جســمه إلى 13 درجة مئوية لمدة 6 ســاعات. انخفض معدل الاستقلاب للفأر بعامل 10. وفي عام 2006 وضع الأطباء في مشــفى ماساتشوستس في بوســطن خنازير وفئرانا في حالة من الحركة المعلقة باستخدام كبريتيد الهيدروجين.

يمكــن لمثــل هذه الاجــراءات في المســتقبل أن تنقذ حياة أنــاس تعرضوا لحــوادث خطيرة أو عانوا من نوبــات قلبية، حيث هناك أهمية لكل ثانية. وقد يسمح تعليق الحركة للأطباء بأن «يجمدوا الزمن» حتى يمكن معالجة المرضى. لكن قد تمر عقود أو أكثر قبل أن يمكن تطبيق هذه التقانات على رواد الفضاء الذين قد يحتاجون لتعليق حركتهم لقرون.

السفن النانوية

هناك طرق أخرى عديدة قد تمكننا من الوصول إلى النجوم عبر تقانات غير مختبرة وأكثر تقدما والتي هي على تخوم الخيال العلمي. أحد الاقتراحات الواعدة هو استخدام مسابر غير مأهولة مبنية على التقانة النانوية. لقد افترضت خلال هذه المناقشة أن السفن النجمية يجب أن تكون أجهزة ضخمة تستهلك كميات كبيرة من الطاقة قادرة على أخذ طاقم كبير من الملاحين إلى النجوم، شبيهة بالسفينة الفضائية انتربرايز في مسلسل ستار ترك.

لكن الطريقة الأكثر احتمالا قد تكون بإرسال مسابر صغيرة غير مأهولة أولا إلى النجوم البعيدة بسرعة قريبة من سرعة الضوء. وكما ذكرنا سابقا، قد يكون من الممكن في المستقبل وباستخدام التقانة النانوية صنع سفينة فضائية صغيرة تستغل طاقة آلات بحجم الذرات أو الجزيئات. وعلى سبيل المثال، يمكن بسهولة تسريع الأيونات الخفيفة إلى سرعة قريبة من سرعة الضوء بجهد كهربائي متوسط متوافر في المختبر. وبدلا من الحاجة لصواريخ ضخمة دافعة، يمكن إرسال هذه السفن النانوية إلى الفضاء بسرعة قريبة من سرعة الضوء باستخدام حقول كهرطيسية قوية. وهذا يعني أنه لو وضع جسم نانوي ضمن حقل كهربائي، فمن الممكن رفع سرعته من دون جهد إلى سرعة الضوء تقريبا. ويمكن للجسم النانوي بعدها أن يبحر إلى النجوم نظرا إلى عدم وجود احتكاك في الفضاء. وبهذه الطريقة تحل فورا العديد من المشاكل التي تواجه السفن النجمية الضخمة. وقد تستطيع السفن الفضائية النانوية الذكية غير المأهولة أن تصل إلى النجوم القريبة بجزء بسيط من كلفة بناء سفينة نجمية ضخمة تحمل ركابا وإطلاقها إلى الفضاء.

يمكن استخدام مثل هذه السفن النانونية للوصول إلى النجوم القريبة، أو كما اقترح جيرالد نوردلي، وهو مهندس فضائي متقاعد في القوات الجوية الأمريكية، أن تدفع شراعا شمسيا في الفضاء. ويقول نوردلي: «بمجموعة من سفن فضائية بحجم رأس الدبوس[2] تطير بتشكيلات معينة ويتصل بعضها مع بعض، نستطيع عمليا أن ندفعها بضوء مصباح جيب».

لكن هناك تحديات تواجه السفن النجمية النانوية. فمن الممكن حرفها بمرور حقول كهربائية أو مغناطيسية في الفضاء الخارجي. ولمواجهة هذه القوى يحتاج المرء إلى أن يسرّع السفن النانوية إلى جهود عالية على الأرض، بحيث لا تحرف بسهولة. وثانيا، ربما علينا أن نرسل ملايين السفن النجمية النانوية هذه للتأكد من وصول حفنة منها إلى مقصدها.

وقد يبدو إرسال مجموعة هائلة من السفن النجمية لاستكشاف أقرب النجوم إسرافا، لكن هذه السفن النجمية ستكون رخيصة ويمكن إنتاجها بالمليارات، حيث يجب على جزء ضئيل منها فقط أن يصل إلى مقصده.

كيف يمكن أن تبدو هذه السفن النانوية؟ تصور دان غولدين، الرئيس السابق لوكالة ناسا، أسطولا من سفن فضائية «بحجم علبة الكوكاكولا». وتحدث آخرون عن سفن نجمية بحجم الإبر. نظر البنتاغون في إمكانية تطوير «غبار ذكي» مؤلف من جسيمات بحجم الغبار لها حساسات ضئيلة داخلها يمكن رشها فوق ساحة معركة بحيث تعطي القواد معلومات بالزمن الفعلي. ومن الممكن في المستقبل إرسال «غبار ذكي» إلى النجوم القريبة.

تصنع النانوبوتات بحجم ذرات الغبار بتقانة النقش المستخدمة في صناعة أنصاف النواقل، والتي يمكنها خلق عناصر بحجم 30 نانو متر أو بقطر 150 ذرة تقريبا. ويمكن إطلاق هذه الأجسام النانوية من القمر بمدافع سككية أو حتى بمسرعات الجسيمات التي ترسل بانتظام جسيمات تحت ذرية بسرعة قريبة من سرعة الضوء. وستكون هذه الأجهزة رخيصة جدا بحيث يمكن إطلاق الملايين منها إلى الفضاء.

وعندما تصل هذه الأجسام النانوية إلى نجم قريب، يمكنها الهبوط على قمر مهجور. وبسبب جاذبية القمر الضئيلة، يمكن للنانوبوت الهبوط عليه والإقلاع منه بسهولة. ونظرا للبيئة المستقرة التي يمكن للقمر أن يزودها، يمكن أن تشكل عليه قاعدة مثالية للعمليات. ويمكن للنانوبوت بناء معمل نانوي واستخدام المعادن الموجودة على سطح القمر وصنع محطة راديو قوية ترسل المعلومات إلى الأرض. كما يمكن تصميم مصنع نانوي يخلق ملايين النسخ من النانوبوت لاستكشاف النظام الشمسي والمغامرة بالسفر نحو نجوم أخرى قريبة مكررة العملية ذاتها. وبما أن هذه السفن روبوتية، فلا لزوم لعودتها إلى الأرض إذا قامت بإرسال معلوماتها بالراديو.

يدعى النانوبوت الذي وصفته أحيانا مسبار فون نيومان، على اسم الرياضي الشهير جون فون نيومان، الذي قام بحساب الرياضيات اللازمة لآلات تورنغ تنسخ نفسها. ويمكن من حيث المبدأ لمثل هذه السفن الفضائية النانوية الناسخة لنفسها أن تستكشف المجرة بأكملها، وليس النجوم القريبة فقط. وفي نهاية المطاف، يمكن أن تكون هناك كرة توجد فيها تريليونات من هذه الروبوتات التي تتكاثر بصورة أسية وتنمو في الحجم وتتمدد بسرعة قريبة من سرعة الضوء. ويمكن لهذه النانوبوتات داخل الكرة المتمددة أن تستعمر المجرة بأكملها خلال بضع مئات الآلاف من السنين.

أحد المهندسين الكهربائيين الذين يأخذون فكرة السفن النانوية على محمل الجد هو بريان جيلكرايست من جامعة ميتشغان. لقد تلقى مؤخرا منحة بقيمة 500 ألف دولار من معهد ناسا للأفكار المتقدمة لاستكشاف فكرة بناء سفن نانوية بمحركات بحجم البكتيريا. لقد تخيل استخدام تقانة النقش نفسها المستخدمة في صناعة أنصاف النواقل لصنع أسطول مؤلف من عدة ملايين من السفن النانوية التي ستحرك نفسها بطرح جسيمات نانوية صغيرة جدا بقطر عشرات النانومترات فقط. وستشحن هذه الجسيمات النانوية بمرورها خلال حقل كهربائي كما في محرك أيوني. وبما أن كل جسيم نانوي يزن آلاف المرات من وزن أيون، فستحشر هذه المحركات دفعا أكبر بكثير من أي محرك أيوني عادي. وبالتالي ستمتلك محركات السفن النانوية الميزات نفسها التي يمتلكها المحرك الأيوني، ما عدا أنها ستمتلك دفعا أقوى بكثير. بدأ جيلكرايست مسبقا بنقش أجزاء من هذه السفن النانوية. وإلى الآن استطاع حزم 10 آلاف دافع منفرد على شريحة سيليكون واحدة بمقياس 1 سم. ويتصور بشكل أولي إرسال أسطول من السفن النانوية خلال النظام الشمسي لاختبار كفاءتها. لكن في النهاية يمكن لهذه السفن النانوية أن تكون جزءا من أول أسطول يصل إلى النجوم.

إن اقتراح جيلكرايست واحد من عدة مقترحات مستقبلية تدرس من قبل ناسا. وبعد عدة عقود من الخمول، فكرت ناسا أخيرا جديا في المقترحات المختلفة للسفر بين النجوم والتي تتراوح بين الموثوق والخيالي.

ومنذ أوائل التسـعينيات تستضيف ناسا ورشــة عمل سنوية حول بحوث الدفــع الفضائي المتقدم حيث تحلل هذه التقانــات بجد من قبل فرق من المهندســين والفيزيائيين. والأكثر طموحا من ذلك هو برنامج فيزياء الدفع المتقدم الذي استكشــف العالم الغامض لفيزياء الكوانتم وعلاقتها بالسفر بــين النجوم. وعلى الرغــم من عدم وجود اتفاق عــام، فقد ركزت معظم أنشــطتهم على التقانات المتقدمة في مجالات الأشــرعة الليزرية ونســخ مختلفة من الصواريخ الاندماجية.

وباعتبار التطورات البطيئة لكن المتتالية في تصميم سفن الفضاء، من المعقول افتراض أن يرســل أول مسبار غير مأهول من نوع ما إلى النجوم القريبة في أواخر هذا القرن أو أوائل القرن التالي، مما يجعله اســتحالة من الصنف الأول.

لكن ربما كان أقوى تصميم لســفينة فضائية يتضمن اســتخدام المادة المضادة. وعلى الرغم مــن أنها تبدو مثل الخيال العلمي، فقد خلق مضاد المادة مســبقا على الأرض، وقد يقدم يوما ما أكثر التصاميم وعدا لسفينة نجمية مأهولة عاملة.



15

مضاد المادة ومضاد الأكوان

«أكثر العبارات إثارة في العلم، والتي تشير إلى اكتشافات جديدة، ليست «يوروكا» (وجدتها) ولكن: هذا غريب...».

إسحق أسيموف

«إذا لم يعتقد الرجل بما نعتقده نقول إنه شاذ. وهذا يكفي في هذه الأيام، لأننا لا نستطيع أن نحرقه».

مارك توين

«يمكنك تمييز إنسان رائد بالسهام المغروسة في ظهره».

بيفرلي روبيك

«يخبرنا المنطق السليم أن الكون المعكوس زمنيا غير ممكن، لكن المعادلات الرياضية للجسيمات تحت الذرية تقول لنا شيئا مختلفا»

المؤلف

في كتاب دان براون «ملائكة وشياطين»، وهو الكتاب الأكثر مبيعا اللاحق لكتاب «شيفرة دافنشي»، تدبّر عصبة صغيرة من

المتطرفين أو (الإليومانتي) مؤامرة لنسف الفاتيكان باستخدام قنبلة مضاد مادة مسروقة من المختبر النووي سيرن (CERN) (*) خارج جنيف. ويعرف المتآمرون أن انفجارا هائلا أقوى بمرات من قنبلة هيدروجينية سيحدث عندما تلتقي المادة بمضاد المادة. وعلى الرغم من أن قنبلة مضاد المادة مجرد خيال علمي، فإن مضاد المادة حقيقي جدا.

تبلغ كفاءة القنبلة الذرية، مع قوتها الهائلة كلها، 1 في المائة فقط. ويتحول جزء ضئيل جدا من اليورانيوم إلى طاقة. لكن لو بُنيت قنبلة مضاد المادة فستحول 100 في المائة من كتلتها إلى طاقة، مما يجعلها أكثر كفاءة بكثير من القنبلة الذرية (بدقة أكثر، يتحول نحو 50 في المائة من المادة في قنبلة مضاد المادة إلى طاقة انفجار قابلة للاستخدام، ويحمل الباقي على شكل جسيمات غير قابلة للاكتشاف، تدعى النيوترينو).

ظل مضاد المادة لفترة طويلة موضوع تخمين شديد. وعلى الرغم من عدم وجود قنبلة مضاد المادة، استطاع الفيزيائيون استخدام محطمات ذرة قوية لديهم لصنع كميات ضئيلة جدا من مضاد المادة لدراستها.

إنتاج مضاد الذرات ومضاد الكيمياء

أدرك الفيزيائيون مع بداية القرن العشرين أن الذرة تتألف من جسيمات تحت ذرية مشحونة تتألف من الإلكترونات (بشحنة سالبة) التي تدورحول نواة صغيرة (بشحنة موجبة)، وتتألف النواة بدورها من بروتونات (تحمل شحنة موجبة) ونيوترونات (حيادية كهربائيا).

لذا فقد صدم الفيزيائيون في الخمسينيات عندما أدركوا أنه يوجد لكل جسيم توأم بشحنة مضادة يدعى مضاد جسيم. كان أول مضاد جسيم هو مضاد الإلكترون (الذي دعي البوزيترون)، والذي يمتلك شحنة موجبة. يماثل البوزيترون الإلكترون في كل شيء، عدا عن أنه يحمل الشحنة المضادة. لقد اكتشف أولا في صور الأشعة الكونية المأخوذة في غرفة سحب. (من السهل رؤية آثار البوزيترون في غرفة سحب. وعندما يوضع في حقل مغناطيسي قوي فإنه ينحني في الاتجاه المضاد للإلكترونات العادية. قمت بتصوير مثل هذه الآثار لمضاد المادة عندما كنت في المدرسة الثانوية).

(*) اختصار للمنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire).

وفي العام 1955 أنتج مسرع الجسيمات بيفاترون (Bevatron) في بيركلي بجامعة كاليفورنيا أول مضاد للبروتون. وكما هو متوقع، فهو مماثل للبروتون عدا أنه يمتلك شحنة سالبة. ويعني هذا من حيث المبدأ أنه يمكن صنع مضاد للذرة (حيث تدور البوزيترونات حول مضاد البروتون). وفي الحقيقة، من المحتمل نظريا وجود مضاد المعدن ومضاد الكيمياء ومضاد البشر ومضاد الأرض وحتى مضاد الأكوان.

وفي الوقت الحالي استطاعت مسرعات الجسيمات الضخمة في سيرن ومختبر فيرمي خارج شيكاغو صنع كميات ضئيلة من مضاد الهيدروجين (ويتم هذا بإطلاق حزمة من بروتونات عالية الطاقة على هدف باستخدام مسرعات الجسيمات، وبالتالي خلق مجموعة من متبقيات الحطام الذرية. وتقوم مغانط قوية بفصل مضاد البروتونات التي تبطأ إلى سرعات منخفضة جدا ثم تعرض إلى مضاد الإلكترونات التي تصدر بشكل طبيعي من الصوديوم 22. وعندما يدور مضاد الإلكترون حول مضاد بروتون فإنهما يصنعان بذلك مضاد الهيدروجين، لأن الهيدروجين مصنوع من بروتون واحد وإلكترون واحد). وبوجود فراغ تام قد تعيش مضادات الذرة هذه للأبد. ولكن بسبب الشوائب والارتطامات بالجدار، فإن مضادات الذرة هذه تصدم في نهاية المطاف بذرات عادية، وتفنى نتيجة لذلك مطلقة الطاقة.

وفي العام 1995 حققت سيرن إنجازا تاريخيا عندما أعلنت أنها صنعت تسع ذرات من مضاد الهيدروجين. وتبع مختبر فيرمي ذلك حالا بإعلانه صنع مائة ذرة من مضاد الهيدروجين. ومن حيث المبدأ، لا يوجد ما يمنعنا من صنع مضادات العناصر الأعلى أيضا عدا التكلفة الضخمة. إن إنتاج حتى أونصات قليلة من مضاد الذرات سيفلس أي دولة. ويبلغ الإنتاج الحالي من مضاد المادة بين 1 من المليار و10 من المليار من الغرام في العام. وربما سيزداد الإنتاج 3 مرات بحلول العام 2020. إن اقتصاديات مضاد المادة ضعيفة جدا. وفي العام 2004 أنفقت سيرن 20 مليون دولار لإنتاج عدة واحدات على التريليون من الغرام من مضاد المادة. وبذلك المعدل، فإن إنتاج غرام واحد من مضاد المادة سيكلف 100 كوادريليون دولار، وسيضطر مصنع مضاد المادة إلى العمل باستمرار لـ 100 مليار عام! ويجعل هذا مضاد المادة أثمن عنصر في العالم.

وكما صرحت سيرن: «لو استطعنا تجميع مضاد المادة التي صنعناها في سيرن كلها وقضينا عليها بالمادة، فسنحصل على طاقة كافية لإنارة مصباح كهربائي واحد لبضع دقائق فقط».

تفرض معالجة مضاد المادة مشاكل غير عادية، لأن أي اتصال بين المادة ومضاد المادة سيؤدي إلى انفجار. وسيشكل وضع مضاد المادة في حاوية عادية انتحارا. وعندما يلامس مضاد المادة جدارا فإنه ينفجر. إذن كيف يعالج المرء مضاد المادة إذا كانت بهذا التطاير؟ تتمثل إحدى الطرق بتأيين مضاد المادة أولا إلى غاز من الأيونات ثم حصره بأمان في «قارورة مغناطيسية». وسيمنع الحقل المغناطيسي مضاد المادة من لمس جدران الغرفة.

ولبناء محرك مضاد المادة يجب تغذية تيار مستمر من مضاد المادة إلى حجرة تفاعل، حيث يدمج بعناية بالمادة العادية خالقا انفجارا يمكن التحكم فيه، ويشبه الانفجار المولد من صواريخ كيميائية. ثم تطرد الأيونات المتولدة عن هذا الانفجار من أحد طرفي صاروخ مضاد المادة مولدة بذلك الطاقة للحركة. وبسبب كفاءة محرك مضاد المادة في تحويل المادة إلى طاقة، فإنه نظريا أكثر تصاميم المحركات وعدا للسفن النجمية في المستقبل. وفي مسلسل «ستار ترك»، فإن مضاد المادة هو مصدر طاقة السفينة إنتربرايز، فمحركاتها تدفع بالتصادم المتحكم فيه بين المادة ومضاد المادة.

صاروخ من مضاد المادة

أحد المروجين الرئيسيين لصاروخ مضاد المادة هو الفيزيائي جيرالد سميث من جامعة ولاية بنسلفانيا. وهو يعتقد أن 4 ميلليغرامات من البوزيترونات كافية على المدى القصير لأخذ صاروخ من مضاد المادة إلى المريخ خلال أسابيع فقط. ويلاحظ أن الطاقة المحشورة في مضاد المادة أكبر بنحو مليار مرة من الطاقة المحشورة في وقود صاروخي عادي.

تتمثل الخطوة الأولى لصنع هذا الوقود في صنع أشعة من مضاد البروتون بواسطة مسرع جسيمات، ثم خزنها في «مصيدة بيننغ» (penning) التي يبنيها سميث. وعندما تنتهي، ستزن 220 رطلا (معظمها عبارة عن نتروجين سائل وهيليوم سائل) وسوف تخزن نحو

تريليـــون مضاد البروتـــون في حقل مغناطيســـي (عند درجـــات حرارة منخفضـــة جدا، فإن طـــول موجة مضاد البروتون أكبـــر بعدة مرات من طول موجة الذرات في جدران الحاوية. وبالتالي، فســـوف ينعكس مضاد البروتون بشـــكل رئيس من الجدران من دون أن يقضي على نفسه). ذكر أن مصيدة بيننغ تســـتطيع أن تخزن مضاد البروتون لخمســـة أيام (حتى يقضـــى عليها في النهاية باختلاطها مع ذرات عادية). وســـتكون مصيدة بيننـــغ التي صممها قـــادرة على تخزين نحو واحد علـــى مليار غرام من مضـــاد البروتون. وهو يهدف إلـــى صنع مصيدة قادرة على خزن حتى 1 ميكروغرام من مضاد البروتون.

وعلـــى الرغم من أن مضاد المادة أثمن مادة علـــى الأرض، فإن تكلفته تنخفض باســـتمرار كل عام (ســـيكلف 1 غرام نحـــو 62.5 تريليون دولار بأسعار اليوم). ويبنى حاليا حاقن جسيمات جديد في مختبر فيرمي خارج شـــيكاغو ســـيكون قادرا على زيادة إنتاج مضاد المـــادة بعامل من 1.5 إلى 15 نانوغراما في العام، مما ســـيخفض الأســـعار. مع ذلك يعتقد هارولد جيريش من ناســـا أن التكلفة يمكن أن تنخفض بشـــكل كبير إلى 5 آلاف دولار لـــكل ميكروغرام مع التطورات القادمة. ويقول الدكتور ســـتيفن هاو من التقانـــات التعاونية (Synergistics Technologies) في لوس آلموس[1] في نيومكســـيكو: «هدفنا هو إزاحة مضاد المـــادة من حقل الخيال العلمي البعيد إلى حقل الاستغلال التجاري في النقل والتطبيقات الطبية».

وحتى الآن، فإن المســـرعات التي يمكنها إنتاج مضاد البروتون ليســـت مصممة خصيصا لذلك، ولذا فهي غير كفؤة. فمسرعات الجسيمات هذه تصمم أساسا لتكون أدوات بحثية وليست مصانع لإنتاج مضاد المادة، وهذا هو الســـبب في تصور سميث بناء مسرع جسيمات جديد مصمم خصيصا لإنتاج كميات غزيرة من مضاد البروتون لخفض التكلفة.

ولو خفضت أسعار مضاد المادة أكثر من ذلك بالتطورات التقنية والإنتاج الضخم، فإن سميث يتصور زمنا يمكن أن تصبح صواريخ مضاد المادة فيه وسيلة للسفر بين الكواكب وربما بين النجوم. لكن حتى ذلك الوقت، ستبقى صواريخ مضاد المادة على لوحات الرسم فقط.

مضاد مادة طبيعي

لـــو كان صنع مضاد المادة على الأرض صعبا جدا، فهل يمكن للمرء أن يعثر على مضاد مادة بســهولة أكثر في الفضاء الخارجي؟ لســوء الحظ، فإن البحث عن مضاد المادة في الكون لم يسفر سوى عن القليل جدا، مما أدهش الفيزيائيين. إن حقيقة أن كوننا مصنوع بشكل رئيس من المادة بدلا من مضاد المادة يصعب تفســيرها. يمكن للمرء أن يفترض بســذاجة أنه كانـــت هناك عند بداية الكون كميـــات متماثلة من المادة ومضاد المادة. لذا فنقص وجود مضاد المادة أمر محير فعلا.

اقترح أكثـــر الحلول الممكنة أولا من قبل أندري ســـاخاروف، الذي صمم القنبلة الهيدروجينية للاتحاد السوفييتي في الخمسينيات. اعتقد ساخاروف أنه عند بداية الكون كان هناك تناظر بســيط بين كمية المادة والمادة المضادة في الانفجار الكبير. ويدعى كسر هذا التناظر الضئيل بـ «خرق تناظر الشحنة الســوية» (CP Violation). هذه الظاهرة هي حاليا محور للكثير من البحث المكثف. اعتقد ســـاخاروف أن الذرات الموجودة اليوم في الكون كلها بقيت من إلغاء كامـــل تقريبا بين المادة ومضاد المادة. لقد ســبب الانفجار الكبير إلغاء كونيا للاثنين. خلقت المادة الضئيلة المتروكة متبقيا شكل الكون المرئي الحالي. فذرات أجسامنا كلها هي مخلفات الانفجار الهائل للمادة ومضاد المادة.

تســـمح هذه النظريـــة باحتمال وجود كميات بســيطة من مضاد المادة فـــي الطبيعة. ولو أن الأمر كذلك فإن اكتشـــاف ذلك المصدر ســـيخفض بشـــدة تكلفة إنتاج مضاد المادة لاستخدامه في محركات مضاد المادة. ومن حيث المبدأ، يجب أن يكون من السهل اكتشاف وجود توضعات طبيعية من مضـــاد المادة. وعندما يلتقي الإلكترون مع مضاد الإلكترون، فإنهما يفنيان بعضهما بعضا إلى أشعة غاما بطاقة 1.02 مليون إلكتروفولت أو أكثر من ذلك. لذا، فإن مســـح الكون للبحث عن أشعة غاما عند هذه الطاقة يمكن المرء من العثور على «بصمات» مضاد المادة الطبيعي.

وبالفعـــل، عثـــر الدكتور وليام بـــوركل من جامعة نورث ويســـترن على «نوافيـــر» من مضاد المادة في مجرة درب التبانة، ليس بعيدا عن مركزها. ومن الواضح أن هناك تيارا من مضاد المادة يخلق إشـــعاع غاما المميز عند

طاقة 1.02 مليون إلكتروفولت عندما يصطدم مع غاز هيدروجين عادي. ولو وجد هذا التيار من مضاد المادة طبيعيا فمن الممكن وجود جيوب أخرى من مضاد المادة في الكون لم تفن بالانفجار الكبير.

للبحث عن مضاد مادة طبيعي بشكل منظم، أطلق القمر باميلا PAMELA (حمل لاكتشاف المادة - مضاد المادة وفيزياء فلك النوى الخفيفة) إلى مدار العام 2006. وهو مشروع تعاوني بين روسيا وإيطاليا وألمانيا والسويد صمم للبحث عن جيوب من مضاد المادة. أطلقت مهمات سابقة للبحث عن مضاد المادة باستخدام بالونات على ارتفاع عال ومكوك فضائي، لذا فقد جمعت البيانات على مدى أسبوع أو نحو ذلك. لكن باميلا سيبقى في المدار لثلاث سنوات على الأقل. ويعلن عضو الفريق بييرجورجيو بيكوزا من جامعة روما: «أنه أفضل مستكشف بني حتى الآن وسوف نستخدمه لفترة طويلة».

صمم باميلا لاستكشاف الأشعة الكونية من مصادر عادية مثل النجوم المستعرة (Supernovae)، لكن أيضا من مصادر غير عادية مثل نجوم مؤلفة من مضاد المادة فقط. وسوف يبحث عن آثار مضاد الهيليوم الذي قد ينتج في أعماق مضاد النجوم. وعلى الرغم من أن معظم الفيزيائيين اليوم يعتقدون أن الانفجار الكبير نتج عنه إلغاء شبه كامل بين المادة ومضاد المادة كما اعتقد ساخاروف، فقد أسس باميلا على افتراض مختلف - وهو أن مناطق من مضاد المادة بأكملها في الكون لم تلغ، وبالتالي توجد اليوم على شكل مضاد النجوم.

لو وجد مضاد المادة بكميات ضئيلة في الفضاء العميق فمن الممكن عندها «حصد» بعضه واستخدامه لتحريك سفينة نجمية. ويأخذ معهد ناسا للأفكار المتطورة فكرة حصد مضاد المادة في الفضاء بشكل جدي، بحيث إنه موّل أخيرا برنامجا رائدا لدراسة هذه الفكرة. ويقول جيرالد جاكسون من تقانات إتش بار، وهي إحدى المنظمات التي تتزعم هذا المشروع: «ما تريد أن تفعله أساسا هو توليد شبكة، تماما كما لو كنت تصطاد».

يبنى حاصد مضاد المادة على شكل ثلاث كرات متمركزة كل منها مصنوع من شبكة سلكية. الكرة الخارجية بقطر 16 كم ومشحونة بشحنة إيجابية، بحيث إنها تنفر أي بروتونات مشحونة إيجابا لكنها تجذب مضاد البروتونات المشحونة سلبا. وسوف تجمع مضادات بروتونات في الكرة

الخارجية ثم تبطئ سرعتها في أثناء مرورها خلال الكرة الثانية، ثم تقف في النهاية عندما تصل إلى الكرة الداخلية التي يبلغ قطرها 100 متر. ثم تلتقط مضاد البروتونات في قارورة مغناطيسية وتدمجها مع مضادات الإلكترونات لتصنع منها مضاد الهيدروجين.

يقدّر جاكسون أن تفاعل المادة - مضاد المادة داخل سفينة فضائية يمكنه أن يزود شراعا شمسيا إلى بلوتو بالوقود باستخدام 30 ميلليغراما فقط من مضاد المادة. وسيكفي 17 غراما من مضاد المادة لتزويد سفينة نجمية بالوقود للوصول إلى ألفا سنتوري (*). ويدعي جاكسون أنه قد يكون هناك 80 غراما من مضاد المادة بين مدارات الزهرة والمريخ يمكن حصدها بالمسبار الفضائي. لكن نظرا إلى تعقيدات إطلاق مثل هذا الملتقط الضخم لمضاد المادة وتكلفته، فليس من المحتمل تحقيق ذلك حتى نهاية القرن أو بعد ذلك.

حلم بعض العلماء بحصد مضاد المادة من نيزك يسبح في الفضاء (أظهرمقطع من سلسلة القصص المصورة «فلاش غوردن» نيزكا شريرا ينجرف في الفضاء، يمكنه إحداث انفجار مخيف لو لمس أي كوكب).

إذا لم يعثر على مضاد مادة طبيعي في الفضاء فعلينا الانتظار لعقود أو حتى لقرون قبل أن نستطيع إنتاج كميات كبيرة مهمة منه على الأرض. لكن بافتراض إمكانية حل المشاكل التقنية لإنتاج مضاد المادة، فسوف يفتح هذا المجال لصواريخ مضاد المادة أن تأخذنا إلى النجوم.

وبافتراض ما نعرفه اليوم عن مضاد المادة والتطور المنظور في المستقبل لهذه التقانة، فسوف أصنف سفينة فضائية بمحرك يعمل على مضاد المادة على أنه استحالة من النوع الأول.

مكتشف مضاد المادة

ما هو مضاد المادة؟ يبدو من الغريب أن تضاعف الطبيعة عدد الجسيمات تحت الذرية بلا سبب وجيه. وعادة تكون الطبيعة اقتصادية، لكننا بعد أن عرفناه عن مضاد المادة، تبدو الطبيعة مبذرة وعاطلة جدا. ولو افترضنا وجود مضاد المادة، فهل توجد مضادات الأكوان أيضا؟

(*) Alpha Centauri، رجل القنطور، أو ألفا القنطور: هو أقرب نظام نجمي إلى الشمس - [المحررة].

وللإجابة عن هذه الأسئلة، على المرء أن يتفحص أصل مضاد المادة نفسه. يعود اكتشاف مضاد المادة حقيقة إلى العام 1928، والعمل الرائد لبول ديراك، أحد ألمع فيزيائيي القرن العشرين. كان ديراك يشغل كرسي لوكاسيان في جامعة كامبردج، وهو الكرسي نفسه الذي شغله نيوتن، والذي يشغله حاليا ستيفن هوكنغ. كان ديراك، الذي ولد في العام 1902، رجلا نحيلا وطويلا في أوائل العشرين من العمر عندما اندلعت ثورة الكوانتم في العام 1925. وعلى الرغم من أنه كان يدرس الهندسة الكهربائية في ذلك الوقت، فإن موجة الاهتمام التي أطلقتها نظرية الكوانتم اجتاحته.

بُنيت نظرية الكوانتم على فكرة أن الجسيمات كالإلكترونات يمكن وصفها ليس كجسيمات محددة فقط، ولكن كموجة وصفت بالمعادلة الموجية الشهيرة لشرودينغر. (تمثل الموجة احتمال العثور على جسم عند تلك النقطة).

لكن ديراك أدرك أن هناك نقصا في معادلة شرودينغر. فقد وصفت العلاقة الإلكترونات التي تتحرك بسرعات منخفضة فقط. لكن المعادلة تفشل عند سرعات عالية، لأنها لا تطيع قوانين الحركة عند سرعات عالية، أي قوانين النسبية التي أوجدها ألبرت آينشتاين.

كان التحدي بالنسبة إلى ديراك الشاب هو إعادة صياغة معادلة شرودينغر بحيث تستوعب نظرية النسبية. اقترح ديراك في العام 1928 تعديلا جذريا على معادلة شرودينغر بحيث إنها أطاعت في نهاية المطاف نظرية النسبية لآينشتاين. ذهل عالم الفيزياء لهذا الاكتشاف. وجد ديراك معادلته النسبية المشهورة للإلكترون باللعب بالرياضيات العالية التي دعيت بالـ «سبينور» (Spinors)، وأضحت حالة رياضية غريبة فجأة مركز الكون بكامله (على النقيض من العديد من الفيزيائيين الذين سبقوه والذين أصروا على أن الاكتشافات العظيمة في الفيزياء يجب أن تبنى على النتائج التجريبية، فقد اتخذ ديراك الاستراتيجية المعاكسة لذلك. بالنسبة إليه فإن الرياضيات البحتة، إذا كانت جميلة بما يكفي، فهي الدليل الأكيد على الاختراقات العظيمة. لقد كتب: «من الأهم الحصول على الجمال في معادلاتك الرياضية بدلا من أن تلائم تلك العلاقات النتائج التجريبية[2]، ويبدو أنه لو عمل المرء على مبدأ الحصول على الجمال في معادلاته الرياضية، ولو امتلك بصيرة صادقة فإنه على الطريق الأكيد نحو التقدم»).

في تطويـــره لمعادلتـــه الجديدة للإلكتـــرون أدرك ديـــراك أن معادلة آينشـــتاين الشـــهيرة $E= mc^2$ لم تكن صحيحة تماما. وعلى الرغم من أن معادلة آينشتاين منشـــورة فوق دعايات شارع ماديسون وقمصان الأطفال وأفـــلام الكرتون وحتى ثياب الأبطال، فإنها صحيحة جزئيا فقط. المعادلة الصحيحـــة بالفعل هي $E= \pm mc^2$. (تنشـــأ إشـــارة - لأن علينا أن نأخذ الجذر التربيعي لكمية معينة. إن أخذ الجذر التربيعي لكمية ما يدخل دوما إشارتي السالب والموجب معا).

لكن الفيزيائيين يبغضون الطاقة الســـالبة. وهناك مقولة في الفيزياء تقول إن الأجســـام تميل دومـــا إلى حالة الطاقة الأدنى (وهذا هو ســـبب جريان الماء دوما إلى المستوى الأدنى، مستوى سطح البحر). وبما أن المادة تهبط دومـــا إلى حالة الطاقة الأدنى، فإن احتمال الطاقة الســـالبة يمكن أن يكـــون كارثيـــا. إنه يعني أن الإلكترونات كلها ستســـقط في النهاية إلى طاقة ســـالبة لا متناهية، وبالتالي ســـتكون نظرية ديراك غير مســـتقرة. لـــذا فقد اخترع ديراك فكرة «بحـــر ديراك». لقد تصور أن حالات الطاقة الســـالبة كلها امتلاءات مســـبقا، وبالتالي لا يمكن لإلكترون أن يسقط إلى طاقة ســـالبة. وبالتالي فالكون مســـتقر. وأيضا يمكن لشعاع غاما أحيانا أن يصطدم بإلكترون يجلس في حالة طاقة ســـالبة ويرفســـه إلى الأعلى إلى حالة طاقة موجبة. وســـنرى بعد ذلك شعاع غاما يتحول إلى إلكترون و«ثقب» يتطور في بحر ديراك. وســـيعمل هذا الثقب مثل فقاعة في فراغ، أي ستكون له شـــحنة موجبة والكتلة نفســـها للإلكترون الأصلي. وبعبارة أخرى، سيتصرف الثقب كمضاد إلكترون. وبالتالي يتألف مضاد المادة في هـــذه الصورة من «فقاعات» في بحر ديراك. وبعد ســـنوات قليلة من هذا الاكتشاف المذهل لديراك، اكتشف كارل أندرسون مضاد الإلكترون (حصل ديراك على جائزة نوبل على هذا الاكتشاف في العام 1933).

وبعبـــارة أخرى، يوجد مضاد المـــادة لأن لمعادلة ديراك نوعين من الحلول: واحد للمادة والآخر لمضاد المادة (وهذا بدوره هو الناتج من النسبية الخاصة).

لا تتنبأ معادلة ديراك بوجود مضاد المادة فقط، لكنها تتنبأ أيضا بـ «لف» الإلكتـــرون. يمكن للجســـيمات تحت الذرية أن تلف مثل لف القســـم العلوي.

ولف الإلكترون مهم بدوره لفهم تدفق الإلكترونات في أنصاف النواقل والترانزستورات التي تشكل أساس الإلكترونيات الحديثة.

يأسف ستيفن هوكنغ أن ديراك لم يسجل براءة اختراع لمعادلته. لقد كتب: «كان ديراك سيحصل على ثروة لو أنه سجل براءة اختراع لمعادلته. كان سينال عائدات عن كل تلفاز وراديو محمول ولعبة فيديو وحاسوب».

واليوم فإن معادلة ديراك منقوشة على حجر كنيسة وستمنستر ليس بعيدا عن قبر إسحق نيوتن. وربما كانت المعادلة الوحيدة في العالم كله التي أُعطيت مثل هذا الشرف.

ديراك ونيوتن

غالبا ما قارن مؤرخو العلم الذي حاولوا فهم أصول علاقة ديراك الثورية ومبدأ المادة المضادة بين ديراك ونيوتن. ومن الغريب أن ديراك ونيوتن يشتركان في العديد من الصفات. فكلاهما كان في العشرينيات من العمر عندما قاما بعملهما الأصيل في جامعة كامبردج. وكلاهما كان أستاذا في الرياضيات، كما اشتركا أيضا في صفة مهمة: انعدام تام للمهارات الاجتماعية إلى حد المرض. وكان كل منهما مشهورا في عدم قدرته على الدخول في محادثة قصيرة أو مشاركة اجتماعية بسيطة. ولكونه خجولا بشكل كبير، لم يقل ديراك أي شيء ما لم يسأل بشكل مباشر، ومن بعدها كان يجيب بـ «نعم» أو «لا» أو «لا أعلم».

كان ديراك أيضا متواضعا جدا ويكره الدعاية. وعندما مُنح جائزة نوبل في الفيزياء فكر جديا في الاعتذار بسبب الشهرة والمشاكل التي تولدها. ولكن عندما قيل له إن رفض الجائزة سيولد دعاية أكبر قرر قبولها.

كتبت مجلدات عن شخصية نيوتن الغريبة، بفرضيات تتراوح بين التسمم بالزئبق إلى المرض العقلي. لكن اقترحت أخيرا نظرية جديدة من قبل عالم النفس سايمون بارون كوهن من جامعة كامبردج ربما تفسر شخصيتي نيوتن وديراك الغريبتين. يدعي بارون أنهما كلاهما ربما كانا يعانيين متلازمة أسبيرغر، القريبة من متلازمة التوحد، مثل العلامة المعتوه في فيلم «رجل المطر» (Rain Man). يكون الأشخاص الذين يعانون الأسبيرغر كتومين جدا

ومتعثرين اجتماعيا وموهوبين أحيانا بقدرة حسابية هائلة، لكن على النقيض من الأشخاص المصابين بالتوحد، فهم فاعلون في المجتمع، ويمكن لهم أن يحتلوا وظائف منتجة. لو كانت هذه النظرية صحيحة، فربما أتت القدرة الحسابية الإعجازية لديراك ونيوتن بثمن باهظ وهو انعزالهما عن باقي بني البشر.

الثقالة المضادة (*) ومضادات الأكوان

باستخدام نظرية ديراك يمكننا الإجابة عن عدد من الأسئلة: ما مضاد المادة المقابل للجاذبية؟ هل هناك مضادات أكوان؟

وكما ناقشنا مسبقا، فإن لمضاد المادة شحنة معاكسة للمادة العادية. لكن الجسيمات التي لا تمتلك شحنة على الإطلاق (مثل الفوتون، جسيم الضوء، أو الغرافيتون، وهو جسيم الجاذبية) يمكن أن تكون مضادات نفسها. نرى أن الجاذبية هي مضاد مادتها، وبعبارة أخرى فالجاذبية ومضاد الجاذبية هي نفسها. وبالتالي، يجب أن يسقط مضاد المادة بتأثير الجاذبية لا أن يرتفع (هذا اعتقاد شائع بين الفيزيائيين، لكنه لم يتم التأكد منه في المختبر).

تجيب نظرية ديراك أيضا عن الأسئلة العميقة: لماذا تسمح الطبيعة بمضاد المادة؟ هل يعني هذا أن مضادات الأكوان موجودة؟

في بعض قصص الخيال العلمي يكتشف الأبطال كوكبا شبيها بالأرض في الفضاء الخارجي. وفي الحقيقة، يبدو الكوكب الجديد مطابقا للأرض في كل شيء، عدا عن أن كل شيء فيه مصنوع من مضاد المادة. لدينا على هذا الكوكب توائم من مضاد المادة بمضادات أطفال تعيش في مضادات مدن. وبما أن قوانين مضاد الكيمياء شبيهة بقوانين الكيمياء، عدا عن أن الشحن متعاكسة، فإن الناس الذين يعيشون في مثل هذا العالم لا يعرفون أنهم مصنوعون من مضاد المادة (يدعو الفيزيائيون هذا بكون الشحنة المعاكسة (Charge-reversed Universe) لأن الشحن كلها معكوسة في هذا الكون المضاد، لكن كل شيء ما عدا ذلك يبقى على حاله).

في قصص خيال علمي أخرى يكتشف العلماء توأما للأرض في الفضاء الخارجي، عدا عن أنه يبدو كونا مناظرا مرآتيا، حيث كل شيء

(*) Antigravity أو مضاد الجاذبية.

معكوس يمينا وشمالا. فقلب كل شخص على الجهة اليمنى ومعظم الناس أعســـرون ويمضون حياتهم وهم لا يعرفون أنهم يعيشـــون في كون معاكس مرآتيا (يدعو الفيزيائيون هذه الكون المناظر مرآتيا بكون التماثل المعاكس (Parity – reversed Univrse)).

هل يمكن لمثل هذه الأكوان المعكوسة ومضاد المادة أن توجد حقا؟ يأخذ الفيزيائيون الأسئلة حول أكوان توأم على محمل الجد، لأن معادلتي نيوتن وآينشتاين تبقيان نفسهما عندما نقوم ببساطة بعكس الإشارة للجسيمات تحت الذرية كلها أو نعكس التموضع يمينا - يســـارا. لذا فكون الشـــحنة المعاكسة وكون التماثل المعاكس ممكنان من حيث المبدأ.

طرح حامل جائزة نوبل ريتشـــارد فينمان ســـؤالا مثيرا حول هذه الأكوان. افتـــرض أننا اتصلنا يوما مـــا بالراديو مع غرباء على كوكـــب بعيد من دون أن نراهم. هل يمكننا أن نشـــرح لهم الفرق بين «يســـار» و«يمـــين» بالراديو؟ لو أن قوانين الفيزياء ســـمحت لكون معكوس بالتماثل فسيســـتحيل بالتالي نقل هذه الأفكار.لقد جادل أن من السهل إيصال بعض الأشياء مثل شكل أجسامنا وعدد أصابعنا وأذرعنا وســـيقاننا. وحتى يمكننا أن نشـــرح للغربـــاء قوانين الكيمياء وعلم الأحياء. لكن لو حاولنا أن نشرح لهم فكرة «اليسار» و«اليمين» (أو «باتجاه عقارب الســـاعة» و«بعكس اتجاه عقارب الســـاعة») فسوف نفشل في كل مرة. ولن نســـتطيع أبدا أن نشـــرح لهم أن قلوبنا على الجهة اليســـرى من أجسادنا والاتجاه الذي تدور به الأرض أو الطريقة التي يلتف بها جزيء الدنا حلزونيا.

لـــذا جاء نقض ســـي. أن يانغ وتي. دي. لي مـــن جامعة كولومبيا لهذه النظريـــة المدعومة بمنزلة صدمة. لقد أظهرا بفحص طبيعة الجســـيمات تحـــت الذريـــة أن الكون المعكـــوس تناظريا عبر المـــرآة لا يمكن أن يوجد. وصـــرح أحد الفيزيائيين الذي علم بهذه النتيجـــة الثورية بـ «لا بد أن الله أخطأ». وبســـبب هذه النتيجة المذهلة التي دُعيت بـ «نقض التماثل» حصل لي ويانغ على جائزة نوبل في الفيزياء في العام 1957.

بالنســـبة إلى فاينمان، عنى هذا الاســـتنتاج أنك لـــو تكلمت مع غرباء على الراديو فمن الممكن تصميم تجربة تمكّنك من معرفة الفرق بين أكوان يمينية وأخرى يسارية بالراديو فقط (على سبيل المثال، لا تلف الإلكترونات

الصادرة عن الكوبالت 60 المشع بأعداد متساوية في اتجاه عقارب الساعة وفي الاتجاه المعاكس له، لكنها في الحقيقة تلف باتجاه مفضل لها، وبالتالي فهي تكسر التماثل).

تخيل فاينمان بعد ذلك لقاء تاريخيا يحدث في نهاية المطاف بين الغرباء والبشر. نخبر الغرباء بأن يمدوا يدهم اليمنى عندما نلتقي لأول مرة لنتصافح. لو مد الغرباء في الحقيقة أيديهم اليمنى فسنعلم عندها أننا نجحنا في إيصال فكرة «يمين - يسار» و«باتجاه عقارب الساعة وعكس عقارب الساعة» إليهم.

لكن فاينمان أثار بعد ذلك السؤال الصعب، ما الذي سيحدث لو مد الغرباء أيديهم اليسرى بدلا من ذلك؟ إن هذا يعني أننا اقترفنا خطأ جسيما، وأننا فشلنا في إيصال فكرة «يسار» و«يمين». والأسوأ، فهذا يعني أن الغريب مصنوع من مضاد المادة وأنه أجرى التجارب كلها بالمقلوب، وبالتالي خلط بين «اليمين» و«اليسار». وهذا يعني أننا ما إن نتصافح حتى ننفجر!

كانت هذه حال فهمنا حتى الستينيات من القرن الماضي. كان من المستحيل معرفة الفرق بين كوننا وكون آخر كل شيء فيه مصنوع من مضاد المادة ومماثل بالعكس لكوننا. ولو قلب التماثل والشحنة فإن الكون الناتج عن ذلك سيطيع قوانين الفيزياء. لقد أزيح التماثل نفسه، لكن الشحنة والتماثل بقيتا تشكلان تناظرا جيدا للكون، لذا فمازال ممكنا وجود كون معكوس بالشحنة والتماثل.

لقد عنى هذا أننا لو تكلمنا مع الغرباء على الهاتف فلن نستطيع معرفة الفرق بين الكون العادي والكون المعاكس بالتماثل والشحنة (أي، تبادل بين اليمين واليسار، وتتحول المادة كلها إلى مضاد المادة).

ثم تلقى الفيزيائيون في العام 1964 صدمة أخرى: لا يمكن للكون المعكوس بالتماثل والشحنة أن يوجد. بتحليل مواصفات الجسيمات تحت الذرية، مازال من الممكن معرفة الفرق بين يسار - يمين وباتجاه عقارب الساعة - وعكس عقارب الساعة لو كنت تتكلم عبر الراديو إلى كون معكوس بالتماثل والشحنة آخر. حصل جيمس كرونين وفال فيتش على جائزة نوبل في العام 1980 لتوصلهما إلى هذه النتيجة.

(وعلى الرغم من انزعـــاج العديد من الفيزيائيين من حقيقة أن الكون المعكوس بالتماثل والشحنة لا يتوافق مع قوانين الفيزياء لكن الاكتشاف كان شـــيئا جيدا كما ناقشنا مســـبقا. لو كان الكون المعكوس بالتماثل والشحنة ممكنا لحوى الانفجار الكبير الأول الكمية نفســـها تماما من المادة ومضاد المـــادة وبالتالي لحصل فناء كامل ولما كانت ذراتنـــا ممكنة! إن حقيقة أننا نوجد على شكل بقية من فناء كميات غير متساوية من المادة ومضاد المادة دليل على اختراق التماثل والشحنة).

هـــل مضادات الأكوان المُعكوســـة ممكنة؟ الجواب نعـــم. حتى لو كانت أكوان معكوســـة بالتماثل أو معكوسة بالشـــحنة غير ممكنة فمضاد الكون ما زال ممكنا، لكنه ســـيكون كونا غريبا. لو عكســـنا الشـــحنات والتماثل ومرور الزمن فسيطيع الكون الناتج عن ذلك قوانين الفيزياء كلها. إن الكون المعكوس بالتماثل والشحنة والزمن (CPT) مازال ممكنا.

إن عكـــس الزمن تناظر غريـــب. وفي كون معكوس زمنيـــا (T)، تقفز البيضات المقلية من صحن العشـــاء ليعاد تشكيلها على المقلاة ثم تقفز إلى البيضة مغلقة التشـــققات. وتنهض الجثث من الموت وتصغر ســـنا وتتحول إلى أطفال ثم تقفز إلى رحم أمهاتها.

يخبرنا المنطق السليم أن الكون المعكوس زمنيا غير ممكن. لكن المعادلات الرياضية للجســـيمات تحت الذرية تقول لنا شـــيئا مختلفا. فقوانين نيوتن تعمل جيدا جدا ســـواء إلى الأمام أو الخلف. تخيل تصويرا بالفيديو للعبة البلياردو. يطيع كل ارتطام للكرات قوانين نيوتن في الحركة، وسيمثل تشغيل شريط الفيديو بالعكس لعبة غريبة لكنها مسموحة وفق قوانين نيوتن.

في نظرية الكوانتم تكون الأشياء أكثر تعقيدا. فالعكس الزمني في حد ذاته يخرق قوانين ميكانيكا الكوانتم لكن الكون المعكوس بالتماثل والشحنة والزمن (CPT) مســـموح به. ويعني هذا أن كونا يعكس فيه اليمين واليسار وتتحـــول المادة فيه إلى مضاد المـــادة ويجري الزمن فيه إلى الوراء هو كون مقبول تماما ويطيع قوانين الفيزياء.

(وللمفارقة، لا نســـتطيع التواصل مع عالم معكوس بالتماثل والشحنة والزمن (CPT). فإذا كان الزمن في كوكبهم يجري إلى الوراء فإن كل شيء

نخبرهم به بواسطة الراديو سيكون جزءا من مستقبلهم، وبالتالي سينسون كل شيء قلناه لهم في الوقت الذي نتكلم فيه إليهم. لذا على الرغم من أن كونا معكوسا (CPT) مسموح به وفق قوانين الفيزياء، فإنه لا يمكننا التكلم مع أي غريب من هذا الكون بواسطة الراديو).

وفي الخلاصة، قد تعطينا محركات مضاد المادة الإمكانية الواقعية لتزويد سفينة نجمية بالوقود في المستقبل البعيد لو أمكن صنع كمية كافية من مضاد المادة على الأرض، أو لو وجدت في الفضاء الخارجي. هناك عدم توازن طفيف بين المادة ومضاد المادة بسبب اختراق التماثل والشحنة، وهذا بدوره يعني أن جيوبا من مضاد المادة لاتزال موجودة ويمكن حصادها.

لكن بسبب الصعوبات التقنية في محركات مضاد المادة فقد يستغرق الأمر قرنا أو أكثر لتطوير هذه التقانة، مما يجعلها استحالة من الصنف الأول.

لكن دعنا نعالج سؤالا آخر: هل السفن النجمية الأسرع من الضوء ممكنة بعد آلاف السنين؟ هل هناك ثغرات في مقولة آينشتاين الشهيرة «لا شيء يمكنه التحرك بأسرع من الضوء؟». من العجيب أن الجواب هو نعم.



الباب الثاني

مستحيلات الصنف الثاني

11

أسرع من الضوء

«من المعقول جدا أن تنتشر «الحياة» في نهاية المطاف خلال المجرة وما وراءها. لذا فقد لا تكون الحياة للأبد شائبة غير مهمة في الكون، على الرغم من أنها الآن كذلك. في الحقيقة، أجد هذه الفكرة جذابة».

الفلكي الملكي السير مارتن ريز

«من المستحيل السفر أسرع من الضوء، وبالتأكيد ليس هذا مرغوبا فيه، حيث تطير قبعة المرء باستمرار».

وودي آلان

«في الماضي، اعتبرت الأكوان الوليدة فضولا علميا، ونتيجة غريبة من نتائج الرياضيات البحتة، لكن الفيزيائيين الآن يفكرون جديا في أن كوننا هذا ربما نشأ كواحد من هذه الأكوان الوليدة»

المؤلف

في حرب النجوم، مع انطلاق سفينة ميللينيوم فالكون من الكوكب الصحراوي، وهي تحمل البطلين لوك سكاي ووكر وهان سولو، تواجه سربا من سفن حربية إمبراطورية خطرة تدور حول الكوكب.

تطلق السفن الحربية الإمبراطورية قذائف عقابية من الأشعة الليزرية على سفينة الأبطال، حيث تخترق دروع القوة حولها باستمرار. تتفوق السفن الإمبراطورية على ميللينويم فالكون في النزال. وبانحنائه تحت هذا السيل من الأشعة الليزرية يصيح هان سولو بأن أملهم الوحيد للنجاة هو القفز إلى «الفضاء الأعلى» (hyperspace). وخلال لحظة تبعث محركات الفضاء الأعلى للحياة. وتنهار النجوم حولهم كلها فجأة نحو مركز شاشتهم، مصدرة أشعة معمية من الضوء. وينفتح ثقب تطير خلاله ميللينيوم فالكون لتصل إلى الفضاء الأعلى وإلى الحرية.

هل هذا خيال علمي؟ لا شك في ذلك. لكن هل يمكن أن يبنى على حقائق علمية؟ ربما. لقد كان السفر بأسرع من الضوء دوما مادة مغذية للخيال العلمي، لكن الفيزيائيين فكروا أخيرا جديا في هذا الاحتمال.

وبحسب آينشتاين، فإن سرعة الضوء هي السرعة القصوى في الكون. وحتى أقوى محطمات الذرة لدينا، والتي يمكنها خلق طاقات لا توجد إلا في مراكز النجوم المنفجرة أو في الانفجار الكبير نفسه، لا يمكنها قذف جسيمات تحت ذرية بسرعة أعلى من سرعة الضوء. ومن الواضح أن سرعة الضوء هي الحد النهائي للسرعة في الكون. وإذا كان الأمر كذلك، فإن أي أمل في الوصول إلى المجرات البعيدة يبدو مستحيلا، أو ربما لا.

آينشتاين الفاشل

في العام 1902 لم يكن من الواضح أن يعد الفيزيائي الشاب ألبرت آينشتاين أعظم فيزيائي منذ إسحق نيوتن. وفي الحقيقة، مثّل ذلك العام أسوأ مرحلة مر بها في حياته. فبوصفه طالب دكتوراه جديدا، رفض للتدريس من قبل كل جامعة تقدم إليها (اكتشف فيما بعد أن أستاذه هاينريش فيبر كتب رسائل توصية مسيئة له، ربما انتقاما من تقليص العديد من صفوفه). والأكثر من ذلك أن والدته رفضت بعنف خطيبته ميليفا ماري التي كانت تحمل طفله. لذا، فقد ولدت ابنته الأولى ليزريل كطفلة غير شرعية. وفشل الشاب ألبرت أيضا في الوظائف العديدة التي تولاها. حتى وظيفة التعليم المتواضعة انتهت فجأة عندما سرّح منها. وفي

رسائله التعيسة فكر في أن يصبح بائعا جوالا ليتمكن من العيش. وكتب إلى عائلته أنه يتمنى لو أنه لم يولد لأنه كان عبئا عليها، ويفتقر إلى أي إمكانات للنجاح في حياته. وعندما توفي والده شعر بالخجل، لأن والده مات وهو يعتقد أن ولده فاشل تماما.

مع ذلك، تبدل حظ آينشتاين أواخر ذلك العام، إذ رتب أحد أصدقائه وظيفة له ككاتب في مركز براءات الاختراع السويسري. ومن ذلك المركز المتواضع أطلق آينشتاين أعظم ثورة في التاريخ الحديث. قضى الساعات وهو يحلل بسرعة براءاتٰ الاختراع على طاولته، ويفكر في مسائل في الفيزياء حيرته منذ أن كان طفلا.

ما سر عبقريته؟ ربما كانت إحدى الدلالات على عبقريته قدرته على التفكير على شكل صور فيزيائية (على سبيل المثال، قطارات متحركة وساعات متسارعة وأنسجة ممدودة) بدلا من الرياضيات البحتة. قال آينشتاين مرة إنه إذا لم يكن من الممكن شرح النظرية لصبي فربما لا فائدة منها. أي يجب التقاط فحوى النظرية بصورة فيزيائية. لذا يضيع العديد من الفيزيائيين في زخم الرياضيات التي لا تؤدي إلى شيء. لكن آينشتاين، كما نيوتن من قبله، شغل بالصورة الفيزيائية بينما تأتي الرياضيات بعد ذلك. وبالنسبة إلى نيوتن، كانت الصورة الفيزيائية هي التفاحة الساقطة والقمر. هل كانت القوى التي تجعل التفاحة تسقط هي القوى نفسها التي توجه القمر أثناء حركته في مداره؟ عندما قرر نيوتن أن الجواب هو نعم خلق تصميما معماريا للكون أظهر فجأة السر الأعظم للسماء، وهو حركة النجوم الفلكية نفسها.

آينشتاين والنسبية

اقترح آينشتاين نظريته الخاصة بالنسبية الشهيرة العام 1905. في لب نظريته صورة يمكن حتى للأطفال أن يفهموها. كانت نظريته حصيلة حلم تصوره في سن السادسة عشرة عندما سأل السؤال المصيري: ما الذي سيحدث لو سبقت شعاعا ضوئيا؟ وكشاب علم أن الميكانيك النيوتوني وصف حركة الأجسام على الأرض وفي السماء، وأن نظرية ماكسويل وصفت الضوء. كان هذان عمودي الفيزياء في ذلك الوقت.

تكمن عبقرية آينشتاين في أنه أدرك أن هذين العمودين يتناقضان أحدهما مع الآخر. ويجب أن يسقط أحدهما.

ووفق نيوتن، يمكنك دوما أن تسبق الضوء، لأنه لا شيء مميز بالنسبة إلى سرعة الضوء. ويعني هذا أن شعاع الضوء يجب أن يبقى ثابتا أثناء سباقك معه. لكن آينشتاين أدرك أن أحدا لم ير موجة ضوئية ثابتة تماما، أي موجة جامدة. لذا فنظرية نيوتن غير معقولة.

أخيرا، بوصفه طالبا جامعيا يدرس نظرية ماكسويل في زيوريخ، وجد آينشتاين الجواب. لقد اكتشف شيئا لم يعرفه حتى ماكسويل نفسه، وهو: إن سرعة الضوء ثابتة مهما كانت سرعتك. لو أسرعت نحو شعاع الضوء أو بعيدا عنه فإنه سيتحرك بالسرعة نفسها، لكن هذه الخاصة تناقض المنطق السليم. وجد آينشتاين الجواب عن سؤاله في سن الطفولة: لا تستطيع أبدا أن تسابق شعاعا من الضوء لأنه يتحرك دوما بعيدا عنك بسرعة ثابتة مهما كانت سرعتك.

لكن ميكانيكا نيوتن كانت نظاما محددا بإحكام: ومثل شد خيط رخو، ستتفكك النظرية بكاملها لو أجريت تغييرا بسيطا في الافتراضات. في نظرية نيوتن فإن مرور الزمن هو نفسه خلال الكون. والثانية على الأرض هي ثانية على الزهرة أو المريخ. وبالمثل، فعصا القياس على الأرض لها الطول نفسه كعصا القياس على بلوتو. لكن إذا كانت سرعة الضوء ثابتة دوما مهما أسرعت، فيجب أن يتغير إدراكنا جذريا بالنسبة إلى المكان والزمان. لا بد من حدوث تشويهات عميقة للزمان والمكان للحفاظ على ثبات سرعة الضوء.

ووفق آينشتاين، لو كنت في سفينة صاروخية مسرعة، فيجب أن يبطئ مرور الزمان داخل الصاروخ بالنسبة إلى شخص على الأرض. فالزمان يمر بسرعات مختلفة وفق السرعة التي تتحرك بها. والأكثر من ذلك فسينضغط المكان داخل السفينة الصاروخية بحيث يتغير طول عصا القياس وفق سرعتك، وستزداد كتلة الصاروخ أيضا. ولو نظرنا إلى الصاروخ بمناظيرنا، فسنرى الساعات داخل الصاروخ تسير ببطء، والناس يتحركون بحركة بطيئة، وسيبدو الناس مسطحين.

وفي الحقيقة، لو سار الصاروخ بسرعة الضوء، فسيتوقف الزمن داخل الصاروخ. وسينضغط الصاروخ إلى لا شيء، وستصبح كتلة الصاروخ لا نهائية. وبما أن أي من هذه الملاحظات لا معنى لها، فقد صرح آينشتاين بأنه لا شيء يمكنه تحطيم حاجز الضوء (بما أن الجسم يصبح أثقل كلما زادت سرعته فهذا يعني أن الطاقة الحركية تتحول إلى كتلة. ومن السهل حساب كمية الطاقة التي تتحول إلى كتلة تماما. وسنصل إلى المعادلة الشهيرة $E= mc^2$ ببضعة أسطر).

ومنذ أن اشتق آينشتاين معادلته الشهيرة، أيدت ملايين التجارب أفكاره الثورية. على سبيل المثال، سيفشل نظام التموضع العالمي (GPS) الذي يستطيع تحديد مكانك على الأرض حتى عدة أقدام إذا لم تضف تعديلات وفق النسبية (بما أن الجيش يعتمد على نظام الـ GPS فيجب حتى على جنرالات البنتاغون أن يتعلموا نظرية النسبية لآينشتاين). وفي الحقيقة تتغير الساعات على نظام الـ GPS مع حركتها فوق الأرض كما تنبأ آينشتاين.

يمكن العثور على أفضل توضيح بياني لهذا المبدأ في محطمات الذرة، حيث يسرّع العلماء الجسيمات إلى قرب سرعة الضوء تقريبا. وفي مسرع سيرن الضخم، وهو مصادم هاردون الكبير (LHC) خارج جنيف في سويسرا تسرع البروتونات إلى تريليونات الإلكترون فولت، وتتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء.

وبالنسبة إلى عالم صواريخ، لا يشكل حاجز الضوء مشكلة كبيرة إلى الآن؛ لأن الصواريخ يمكنها السفر بالكاد فوق عدة عشرات آلاف الأميال في الساعة. لكن عندما يفكر علماء الصواريخ جديا في إرسال مسابر إلى أقرب نجم (يبعد 4 سنوات ضوئية من الأرض) خلال قرن أو اثنين، يمكن لحاجز الضوء أن يصبح مشكلة.

ثغرات في نظرية آينشتاين

حاول الفيزيائيون خلال عقود أن يجدوا ثغرات في مقولة آينشتاين الشهيرة. ووجدت بعض الثغرات، لكن معظمها غير مفيد. على سبيل المثال، عندما يوجه ضوء مصباح عبر السماء يمكن لخيال شعاع الضوء -

من حيث المبدأ - أن يتجاوز سرعة الضوء. وخلال عدة ثوان يتحرك خيال ضوء المصباح من نقطة على الأفق إلى نقطة أخرى في الاتجاه المعاكس على مسافة تمتد لمئات السنين الضوئية. لكن لا أهمية لهذا لأنه لا يمكن نقل معلومات أسرع من الضوء بهذه الطريقة. لقد تجاوز خيال شعاع الضوء، سرعة الضوء، لكن الخيال لا يحمل طاقة أو معلومات.

وبالمثل، لو كان لدينا زوج من المقصات، فإن النقطة التي تتقاطع عندها الشفرتان تتحرك أسرع كلما كانت النقطة أبعد عن نقطة اتصال الشفرتين. لو تصورنا مقصات بطول سنة ضوئية، فإن إغلاق الشفرتين يمكن أن يحرك نقطة التقاطع أسرع من الضوء (وأيضا فلا أهمية لهذا، لأن نقطة التقاطع لا تحمل طاقة أو معلومات).

وبالمثل، كما ذكرت في الفصل الرابع، تمكننا تجربة الـ EPR (*) من أن نرسل معلومات بسرعة أسرع من الضوء (في هذه التجربة، يهتز إلكترونان بالتزامن ثم يرسلان ليتحركا في اتجاهين متعاكسين. وبما أن هذين الإلكترونين متجانسان، فيمكن إرسال المعلومات بينهما بسرعات أعلى من سرعة الضوء، لكن هذه المعلومة عشوائية، وبالتالي فهي بلا فائدة. وبالتالي لا يمكن استخدام آلات الـ EPR لإرسال مسابر إلى النجوم البعيدة).

أتت الثغرة الأكثر أهمية من آينشتاين نفسه، الذي ابتدع نظرية النسبية العامة في العام 1915، وهي نظرية أقوى من نظرية النسبية الخاصة. زرعت بذور النسبية العامة عندما نظر آينشتاين إلى أرجوحة أطفال (دوامة الخيل). كما رأينا سابقا، تتقلص الأجسام عندما تقترب سرعتها من سرعة الضوء. وكلما زادت السرعة زاد الانكماش. لكن بالنسبة إلى قرص دوار، فإن محيط القرص الخارجي يتحرك بسرعة أكبر من المركز (في الحقيقة فإن المركز ثابت تقريبا). وهذا يعني أن ساق مسطرة موضوعة على حافة القرص سوف تتقلص، بينما تبقى مسطرة موضوعة على المركز ثابتة تقريبا، وبالتالي فإن سطح الأرجوحة لم يعد منبسطا لكنه محني. لذا يحني التسارع المكان والزمان بالنسبة إلى الأرجوحة.

(*) نسبة إلى آينشتاين (E)، بوريس بودولسكي (P)، ونيثن روزن (R).

في النظرية العامة للنسبية، فإن الزمكان (الزمان - المكان) هو نسيج يمكن أن يتمدد ويتقلص. وتحت ظروف معينة قد يمتد النسيج أسرع من سرعة الضوء. فكر في الانفجار الكبير على سبيل المثال، عندما ولد الكون في انفجار كوني منذ 13.7 مليار عام. يمكن للمرء أن يحسب أن الكون تمدد في البداية أسرع من سرعة الضوء (لا يناقض هذا النسبية الخاصة، لأن الفضاء الفارغ - الفضاء بين النجوم - هو الذي كان يتمدد وليس النجوم نفسها. لا يحمل الفضاء المتمدد أي معلومات).

النقطة المهمة هي أن النسبية الخاصة تنطبق محليا فقط، أي بالقرب منك. في جوارك القريب (مثل النظام الشمسي) تنطبق النسبية الخاصة كما نثبت من خلال مسابرنا الفضائية. لكن بشكل شامل (أي على المقاييس الكونية التي تشمل الكون) علينا أن نستخدم النسبية العامة بدلا من ذلك. في النسبية العامة يصبح الزمكان نسيجا، ويمكن لهذا النسيج أن يتمدد أسرع من الضوء. ويمكنه أيضا أن يسمح بوجود «ثقوب في الفضاء»، حيث يمكن للمرء أن يتخذ طريقا مختصرا خلال الزمان والمكان.

بالنظر إلى هذه التحفظات، ربما يتم السفر بأسرع من الضوء يوما ما باستخدام النسبية العامة. وهناك طريقتان يمكن أن يتم ذلك بهما:

1 - المكان الممدد : لو أردت أن تمد المكان الذي وراءك وأن تلامس المكان أمامك، فستتوهم أنك تتحرك أسرع من الضوء. وفي الحقيقة، فإنك لن تكون قد تحركت على الإطلاق، لكن بما أن المكان تشوه، فيعني هذا أن باستطاعتك الوصول إلى نجوم بعيدة في طرفة عين.

2 - المكان الممزق: أدخل آينشتاين العام 1935 فكرة الثقب الدودي. تخيل مرآة أليس، وهي آلة سحرية تصل ريف أكسفورد بعالم العجائب (*). الثقب الدودي آلية وصل كونين أحدهما مع الآخر. عندما كنا في المدرسة، تعلمنا أن الخط المستقيم هو أقصر خط بين نقطتين. لكن هذا ليس بالضرورة صحيحا، لأننا لو حنينا صفحة من الورق حتى تتلامس نقطتان فإننا سنرى أن المسافة الأقصر بين نقطتين هي في الحقيقة ثقب دودي.

(*) إشارة إلى القصة الشهيرة «من خلال المرآة» للويس كارول، وهو اسم مستعار لعالم الرياضيات والمصور الفوتوغرافي الإنجليزي تشارلز توتويدج دودجسن - [المحررة].

وكمـا يقول الفيزيائي مات فيسـر من جامعة واشـنطن[1]: «بدأت جماعـة النسـبية التفكير فيما يلزم لأخذ شـيء مثل محرك تشـويه الزمكان (warp drive) أو الثقوب الدودية خارج نطاق الخيال العلمي».

ويقول السـير مارتن ريفز من الجمعية الملكية الفلكية في بريطانيا[2]: تفتح الثقوب الدودية والأبعاد الإضافية والحاسبات الكمومية سيناريوهات تخمينية يمكنها أن تحول كوننا بكامله في النهاية إلى «كون حي».

محرك ألكوبير والطاقة السالبة

أفضل مثال على المكان المتمدد هو محرك ألكوبير، الذي قدمه الفيزيائي ميغل ألكوبير العام 1944 باستخدام نظرية آينشتاين في الجاذبية. ويشبه كثيرا نظام التحريك في مسلسـل سـتار ترك. يجلس ملاح هذه السفينة النجميـة ضمن فقاعة (تدعـى «فقاعة الالتـواء» warp bubble)، حيث يبدو كل شـيء عاديا حتى حين تحطم سفينة الفضاء حاجز الضوء. وفي الحقيقة يعتقد الملاح أنه سـاكن. مع ذلك تحدث تشوهات كبيرة للزمكان خارج فقاعـة الالتواء مع انضغاط المكان أمام فقاعـة الالتواء. ولن يكون هناك تمديد للزمان، لذا يمر الزمان بشكل عادي داخل فقاعة الالتواء.

يعترف ميغل ألكوبير بأن لمسلسـل ستار ترك دورا في عثوره على هذا الحل بقوله: «تحدث الناس في ستار ترك حول محرك الالتواء، وهي فكرة لي المكان»، ويتابع: «لدينا مسـبقا نظرية حـول كيفية حني المكان أو عدم حنيه، وهي نظرية النسـبية العامة. فكرت أنه يجب أن تكون هناك طريقة لاستخدام هذه الأفكار[3] لرؤية كيف سيعمل محرك الالتواء»، وربما كانت هذه هي المرة الأولى التي سـاعد فيها مسلسـل تلفزيوني على إلهام حل لإحدى معادلات آينشتاين.

يخمن ألكوبير أن رحلة في سـفينة النجوم المقترحة تشـبه رحلة على متن ميللينيوم فالكون في «حرب النجوم». ويقول في ذلك: «شـعوري أنهم ربما سـيرون شيئا مشابها لذلك. سـتصبح النجوم أمام السفينة خطوطا أو شـرائط طويلة. وفي الخلف لن يروا شـيئا - مجرد سواد - لأن ضوء النجوم[4] لا يمكنه أن يتحرك بالسرعة الكافية ليلحق بهم».

إن المفتاح لمحرك ألكوبير هو الطاقة اللازمة لتحريك السفينة الفضائية إلى الأمام بسرعات أعلى من سرعة الضوء. وعادة يبدأ الفيزيائيون بمقدار موجب من الطاقة من أجل تحريك سفينة نجمية، مما يسمح بسفر أبطأ من سرعة الضوء. وللتحرك وراء هذه الإستراتيجية، بحيث يمكن السفر أسرع من الضوء، على المرء أن يغير الوقود. يظهر الحساب المباشر أنك في حاجة إلى «كتلة سالبة» أو «طاقة سالبة»، وهما المقداران الأكثر غرابة في الكون، هذا إذا وجدا على الإطلاق. وتقليديا، استبعد الفيزيائيون الكتلة السالبة والطاقة السالبة على أنهما من الخيال العلمي. لكننا نرى الآن أنهما لازمان لسفر أسرع من الضوء، وربما يوجدان بالفعل.

بحث الفيزيائيون عن المادة السالبة في الطبيعة، لكن بدون نجاح حتى الآن (مضاد المادة والمادة السالبة شيئان مختلفان تماما. الأول موجود وله طاقة موجبة لكن بشحنة معاكسة. أما المادة السالبة فلم يبرهن على وجودها حتى الآن). وستكون المادة السالبة غريبة عنا تماما، لأنها ستكون أخف من أي شيء وسوف تعوم. ولو وجدت المادة السالبة في الكون الأولي فإنها كانت ستتجرف في الفضاء الخارجي. وعلى النقيض من الشهب التي تنهمر على الكواكب منجذبة بجاذبيتها، فإن المادة السالبة تبعد الكواكب عنها. وسوف تنفر، ولن تجذب، من قبل الكبيرة مثل النجوم والكواكب. لذا، على الرغم من أن المادة السالبة قد توجد فإننا نتوقع العثور عليها في الفضاء العميق فقط، وبالتأكيد ليس على الأرض.

يشمل أحد الاقتراحات للعثور على المادة السالبة في الفضاء الخارجي استخدام الظاهرة التي تدعى «عدسات آينشتاين». عندما يسافر الضوء حول نجم أو مجرة فإن مساره سينحني بفعل الجاذبية وفق النسبية العامة. وفي العام 1912 (حتى قبل أن يطور آينشتاين النسبية العامة بشكل كامل) تنبأ بقدرة المجرة على العمل مثل عدسة تلسكوب. إن الضوء من جسم بعيد يتحرك حول مجرة قريبة يتجمع أثناء مروره حولها، مثل عدسة، مشكلا نموذج حلقة مميزا عندما يصل في النهاية إلى الأرض. تدعى هذه الظواهر الآن «حلقات آينشتاين». لوحظت أولى عدسات آينشتاين هذه في الفضاء الخارجي العام 1979. ومنذ ذلك الوقت أصبحت أداة لا غنى عنها للفلكيين

(على سبيل المثال، اعتقد مرة أنه من المستحيل تحديد «المادة السوداء» في الفضاء الخارجي. المادة السوداء مادة سرية غير مرئية لكن لها وزن. وهي تحيط بالمجرات، وربما كانت متوافرة بعشرة أمثال المادة المرئية). لكن علماء ناسا استطاعوا رسم خرائط للمادة السوداء لأنها تحني الضوء عند مروره خلالها بالطريقة نفسها التي يحني بها الزجاج الضوء).

لذا من الممكن استخدام عدسات آينشتاين للبحث عن مادة سالبة وثقوب دودية في الفضاء الخارجي. ولا بد أنها تحني الضوء بطريقة مميزة، ولا بد أن ترى بتلسكوب هابل الفضائي. وحتى الآن لم تكتشف عدسات آينشتاين خيال المادة السالبة أو الثقوب الدودية في الفضاء الخارجي، لكن البحث مستمر. ولو اكتشف تلسكوب هابل الفضائي يوما ما مادة سالبة أو ثقبا دوديا من خلال عدسات آينشتاين، فسيخلق صدمة في عالم الفيزياء.

تختلف الطاقة السالبة عن المادة السالبة في أنها موجودة فعلا، لكن بكميات ضئيلة جدا. وفي العام 1933، أجرى هيندريك كاسيمير تنبؤا غريبا باستخدام قوانين نظرية الكوانتم. لقد ادعى أن صفيحتين معدنيتين متوازيتين غير مشحونتين ستجذب إحداهما الأخرى كأن ذلك سحر. وعادة تكون الصفائح المتوازية ساكنة، بما أنها لا تمتلك أي شحنة. لكن الفراغ بين الصفيحتين المتوازيتين ليس فارغا بل مملوء بـ «جسيمات افتراضية» تخرج من الوجود وتعود إليه.

ولفترات قصيرة من الزمن، تنبعث أزواج من الإلكترونات ومضاد الإلكترونات من لا شيء، ثم لا تلبث أن تفنى وتعود لتختفي في الفراغ. ومن المفارقة أن الفضاء الفارغ الذي ظن فيما مضى خاليا أصبح الآن يعج بالنشاط الكمومي. وعادة ستبدو انفجارات ضئيلة من المادة ومضاد المادة كأنها تخترق مبدأ الحفاظ على الطاقة. لكن بسبب مبدأ عدم التأكد، فإن هذه الاختراقات الضئيلة قصيرة الحياة جدا، وفي المتوسط، ما زال هناك حفاظ على الطاقة.

وجد كاسيمير أن سحابة الجسيمات الافتراضية ستخلق محصلة ضغط في الفراغ. وبما أن الفراغ بين الصفيحتين المتوازيتين محصور،

فــإن الضغط منخفــض. لكن الضغط خــارج الصفيحيتن غير محصور وأوســع، وبالتالي فســتكون هنــاك محصلة ضغط تدفــع الصفيحيتن إحداهما باتجاه الأخرى.

وعادة تحدث حالة الطاقة المساوية للصفر عندما تكون هاتان الصفيحتان بلا حركة وتقعان على مســافة كبيرة إحداهما مــن الأخرى لكن مع اقتراب الصفيحتــين يمكنك اســتخلاص الطاقــة منهما. وبالتالي، بمــا أن الطاقة الحركية أخذت من الصفيحتين، فإن طاقة الصفيحتين أقل من الصفر.

قيســت هذه الطاقة السِّــالبة بالفعل في المختبر العام 1948، وأكدت النتائــج تنبؤ كاســيمير. وبالتالي، فإن الطاقة الســالبة وتأثير كاســيمير ليســا خيالا علميا بعــد الآن لكنهما حقيقة مؤكدة. لكن المشــكلة هي أن تأثير كاســيمير بســيط جدا. فمن الضروري وجود أجهزة قياس حساسة ومتطورة لتحســس هذه الطاقة في المختبر (بصورة عامة تتناســب طاقة كاسيمير مع مقلوب الأس الرابع للمسافة بين الصفيحيتن. وهذا يعني أنه كلما قصرت المسافة بين الصفيحتين كبرت الطاقة). قيس تأثير كاسيمير بدقة العام 1996 من قبل ســتيفان لامورو من مختبر لوس ألموس، وكانت القوة الجاذبة 30000/1 من وزن نملة.

ومنــذ أن اقترح ألكوبير هذه النظرية، اكتشــف الفيزيائيون عددا من الخصائص الغريبة. كان الناس داخل ســفينة النجوم منفصلين بالمصادفة عن العالم الخارجي. وهذا يعني أنك لا تســتطيع ببســاطة أن تكبس زرا كما تريد وتســافر بأسرع من سرعة الضوء. لا يمكنك التواصل من خلال الفقاعة. يجب أن يكون هناك «طريق ســريع» موجود مسبقا خلال الزمان والمكان، مثل سلســلة من القطارات التي تمر ببرنامج زمني منتظم. وبهذا المعنى لن تكون الســفينة النجمية ســفينة عادية يمكنها تغيير الاتجاهات والســرعات كما تريد. في الحقيقة ستكون الســفينة النجمية مثل سيارة ركاب تسير على «موجة» موجودة مسبقا من الفضاء المضغوط، تسير على طول ممر موجود مســبقا من الزمكان المنحني. ويخمن ألكوبير: «سنحتاج إلى سلســلة من المولدات للمادة الغريبة[5] أثناء الســير مثل طريق ســير سريع، بحيث يمكنها التحكم في المكان لك بطريقة متزامنة».

وفي الحقيقة، يمكن إيجاد أنواع غريبة أخرى من الحلول لمعادلات آينشـــتاين. تقول معادلات آينشــتاين إنك لو أعطيــت كمية معينة من الكتلة والطاقة يمكنك حســاب انحناء الزمكان الذي ســتولده الكتلة أو الطاقة (بالطريقة نفســها التي يمكنك فيها حســاب الدوائر التي ســيحدثها رمي صخرة فــي بركة مــاء). لكن يمكنك أيضا تشــغيل العلاقــات بالعكس. يمكنك البدء بزمكان غريب من النوع الموجود في حلقــات «منطقة الغبش»(*) (في هــذه الأكوان يمكنك فتح باب، مثلا، لتجد نفســك على ســطح القمر. ويمكنك الركض حول شجرة لتجد نفسك راجعا للوراء في الزمان، بحيث يكون قلبك على الجانب الأيمن من جسمك). يمكنك عندها حساب توزع المادة والطاقة المتعلقة بذلك الزمــكان. (ويعني هذا أنك لو أعطيت مجموعــة غريبة من الموجات على ســطح بركة، يمكنك الرجوع إلى الوراء وحســاب توزع الصخور الضــروري لإنتاج هذه الموجات). كانت هذه في الحقيقة هي الطريقة التي اشــتق منهــا ألكوبير هذه المعادلات. لقد بدأ بزمكان متســق مع الســفر بسرعة أكبر من ســرعة الضوء، ثم حسب رجوعا نحو الوراء الطاقة اللازمة لإنتاجه.

ثقوب دودية وثقوب سوداء

إضافة إلى مد المكان، فإن الطريقة الممكنة الثانية لكسر حاجز الضوء هــي بتمزيق المــكان من خلال ثقوب دودية أو ممــرات تصل بين الكونين. فــي قصص الخيال العلمي جاء ذكر الثقب الدودي لأول مرة من الرياضي تشارلز دودجسون من جامعة أكسفورد، الذي كتب رواية «من خلال المرآة» تحت الاســم المستعار لويس كارول. كانت مرآة أليس ثقبا دوديا يصل ريف أكسفورد بالعالم السحري لعالم العجائب (وندرلاند). وبوضع يدها خلال المــرآة، أمكن نقل أليس فورا من كون إلى الكون التالي. ويدعو الرياضيون ذلك «فضاءات متعددة متصلة».

(*) The Twilight Zone: مسلســل تلفزيوني رائــع جمع بين الإثارة والرعب والخيال العلمي، عرضت السلسلة الأولى من حلقاته خلال السنوات من 1959 إلى 1964، والثانية في الثمانينيات خلال الفترة من 1958 - 1989، وأخيرا في 2002 - 2003 - [المحررة].

يعود مبدأ الثقوب الدودية في الفيزياء إلى العام 1916، بعد سنة من نشر آينشتاين نظريته العظيمة في النسبية العامة. واستطاع كارل شفارزتشايلد، الذي كان يخدم في ذلك الوقت في جيش ريزر، أن يحل معادلات آينشتاين بدقة لحالة نجم وحيد نقطي. وبعيدا عن النجم، كان حقل الجاذبية التابع له مماثلا جدا لنجم عادي، وبالفعل فقد استخدم آينشتاين حل شفارزتشايلد لحساب انحراف الضوء حول نجم. كان لحل شفارزتشايلد تأثير عميق ومباشر في علم الفلك، ويعتبر حتى الآن أحد أفضل الحلول المعروفة لمعادلات آينشتاين. ولأجيال، استخدم الفيزيائيون حقل الجاذبية حول هذا النجم النقطي كتقريب للحقل حول نجم حقيقي بقطر محدد.

لكنك لو اعتبرت هذا الحل النقطي جديا، فهناك في مركزه جسم ضخم نقطي صدم الفيزيائيين وأذهلهم نحو قرن - ثقب أسود. كان حل شفارزتشايلد لجاذبية نجم نقطي أشبه بحصان طروادة. فمن الخارج بدا كأنه هبة من السماء، لكنه كان من الداخل مملوءا بالأشباح والشياطين من الأنواع كلها. لكن، لو قبلت الأول فعليك أن تقبل الثاني. بيَّن حل شفارزتشايلد أن أشياء غريبة تحصل مع اقترابك من هذا النجم النقطي. فهناك كرة غير مرئية تحيط بهذا النجم (دعيت «أفق الحدث» Event Horizon)، وهي نقطة اللاعودة. فكل شيء يدخل، لكن لا شيء يمكنه الخروج، مثل فخ الصراصير. وإذا عبرت أفق الحدث فلن ترجع أبدا (لا تكاد تدخل أفق الحدث حتى يكون عليك أن تسافر بأسرع من الضوء لتهرب منه، وسيكون هذا مستحيلا).

ومع اقترابك من أفق الحدث، تمتد ذرات جسمك بفعل قوى المد. وستكون الجاذبية التي تشعر بها أقدامك أكبر بكثير من الجاذبية التي يشعر بها رأسك، وبذا ستكون مثل «معكرونة الاسباغيتي» ثم تمزق شزرا. وبالمثل، ستمدد ذرات جسمك وتمزق بفعل الجاذبية.

وبالنسبة إلى مراقب خارجي يرقب اقترابك من أفق الحدث يبدو أنك تبطئ مع الزمن. وفي الحقيقة، لا تكاد تصل إلى أفق الحدث حتى يبدو أن الزمن قد توقف!والأكثر من ذلك، فمع سقوطك بعد تخطيك أفق الحدث

ســترى الضوء الذي حبس منذ مليارات السنين وهو يدور حول هذا الثقب الأسود. وســيبدو كأنك كنت تراقب فيلما متحركا يفصل لك تاريخ الثقب الأسود بكامله رجوعا إلى بدايته الأولى.

وأخيرا، لو استطعت السقوط خلال الثقب الأسود، فسيكون هناك كون آخر على الطرف الآخر. وقد دعي هذا الممر بجسر آينشتاين - روزن، حيث قدم لأول مرة من قبل آينشتاين العام 1955، ويدعى الآن الثقب الدودي.

اعتقد آينشتاين وفيزيائيون آخرون أنه لا يمكن لنجم أن يتطور أبدا بشكل طبيعي إلى مثل هذا الشيء الفظيع. وفي الحقيقة، فقد نشر آينشتاين العام 1939 ورقــة تظهر أن كتلة دوارة من الغــاز والغبار لن تتكثف أبدا إلى مثل هذا الثقب الأسود. لذا على الرغم من أن هناك ثقبا دوديا في مركز الثقب الأسود، فإنه كان متأكدا أن مثل هذا الشيء الغريب لا يمكن أبدا أن يتشكل بطرق طبيعيــة. وفي الحقيقة، قال الفيزيائي الفلكي آرثر إدينغتون مرة إنه «يجــب أن يكون هناك قانون في الطبيعــة يمنع نجما ما من التصرف بهذه الطريقة العبثية». وبعبارة أخرى، فالثقب الأســود هو بالتأكيد حل مشــروع لمعادلات آينشتاين، لكن لا توجد آلية معروفة لتشكيله بطرق طبيعية.

تغير هذا كله مع تقديم روبرت أوبنهايمر وطالبه هارتلاند سنايدر ورقة علمية كتبت في ذاك العام تظهر أنه من الممكن بالفعل تشكيل ثقوب سوداء بالطــرق الطبيعية. وقد افترضا أن نجما يموت يســتنفد وقوده النووي ثم ينهار تحت تأثير جاذبيته نحو المركز بتأثير وزنه. لو استطاعت الجاذبية أن تضغط النجم إلى أفق حدثه، فلا شــيء في العلم يمكنه أن يمنع الجاذبية من ضغط النجم إلى جســيم نقطي - الثقب الأسود (ربما أعطت طريقة الانهيار نحو المركز هــذه أوبنهايمر الفكرة لصنع قنبلة ناغازاكي بعد عدة سنوات فقط، والتي تعتمد على انهيار كرة من البلوتونيوم نحو المركز).

جاء الاختراق التالي العام 1963، عندما تفحص الرياضي النيوزيلاندي روي كير أكثر مثال واقعي لثقب أســود. فالأجسام تلف أسرع مع تقلصها، بالطريقة نفسها التي يلف فيها المتزحلقون على الجليد بسرعة أكبر عندما يقربون أيديهم من أجسامهم. ونتيجة لذلك لا بد أن تلف الثقوب السوداء بسرعات هائلة.

اكتشف كير أن الثقب الأسود الدوار لن ينهار إلى نجم نقطي كما افترض شفارزتشايلد، لكنه سينهار إلى حلقة دوارة. وسيكون مصير أي شخص يصطدم بهذه الحلقة الهلاك. لكن أي شخص يسقط وسط الحلقة لن يموت، بل سيمر خلالها. لكنه بدلا من أن يصل إلى الطرف الآخر من الحلقة فإنه سيمر عبر جسر آينشتاين - روزن ليصل إلى كون آخر. وبعبارة أخرى، فإن الثقب الأسود الدوار هو حافة مرآة أليس.

لو انتقل المرء حول حلقة دوارة مرة ثانية فإنه سيدخل كونا آخر. وفي الحقيقة، سوف يؤدي الدخول المتكرر في الحلقة الدوارة إلى نقل المرء إلى أكوان مختلفة متوازية، مثل الضغط على زر «الأعلى» في مصعد. ومن حيث المبدأ، يمكن أن يكون هناك عدد لا متناه من الأكوان كل منها موضوع فوق الآخر. وكما كتب كير «ادخل عبر هذه الحلقة السحرية ويا للعجب! [6] أنت الآن في كون مختلف تماما حيث القطر والكتلة سالبان!».

ومع ذلك هناك مشكلة مهمة، فالثقوب السوداء أمثلة على «ثقوب دودية لا يمكن عكسها»، أي أن العبور خلال أفق الحدث هو رحلة باتجاه واحد فقط. فإذا أنت مررت عبر أفق الحدث وحلقة كير فلن تستطيع الرجوع خلال الحلقة وأفق الحدث.

لكن كيب ثورن وزملاءه في معهد كاليفورنيا للتقنية (كالتيك) وجدوا في العام 1988 مثالا على ثقب دودي قابل للعكس، أي ثقب دودي يمكنك المرور بحرية عبره للأمام والخلف. وفي الحقيقة، بالنسبة إلى أحد الحلول، فإن السفر عبر ثقب دودي لن يكون أسوأ من ركوب الطائرة.

عادة ما تحطم الجاذبية عنق الثقب الدودي، مهلكة بذلك رواد الفضاء الذين يحاولون الوصول إلى الطرف الآخر. وهذا أحد الأسباب التي تجعل السفر خلال الثقب الدودي بسرعة أعلى من سرعة الضوء غير ممكن. لكن القوة الطاردة للطاقة السالبة أو للمادة السالبة يمكنها إبقاء عنق الثقب مفتوحا لفترة كافية تسمح لرواد الفضاء بالعبور. وبعبارة أخرى فالكتلة أو الطاقة السالبة ضرورية لقوة دفع ألكوبيير ولحل الثقب الدودي.

وخلال السنوات القليلة السابقة اكتشف عدد مذهل من الحلول الدقيقة لمعادلات آينشتاين تسمح بوجود الثقوب الدودية، لكن هل توجد الثقوب الدودية فعلا أم هل هي مجرد اختراع رياضي؟ هناك عدد من المشاكل الرئيسة التي تواجه الثقوب السوداء.

أولا، لخلق التشوهات في الزمان والمكان اللازمة للسفر عبر ثقب دودي يحتاج المرء إلى كميات هائلة من المادة السالبة والموجبة بحجم نجم ضخم أو ثقب أسود. ويقدر ماثيو فيزر، الفيزيائي في جامعة واشنطن، أن كمية الطاقة السالبة التي ستحتاجها لفتح ثقب دودي بقطر متر تقارن بكتلة المشتري، ما عدا أنها يجب أن تكون سالبة. ويقول: «تحتاج إلى كتلة سالبة بحدود مشتري واحد لإنجاز المهمة[7]. إن مجرد التحكم بكتلة أو بطاقة موجبة بحجم المشتري أمر غير عادي وفوق قدراتنا في المستقبل المنظور».

يخمن كيب ثورن من معهد كاليفورنيا للتقنية أن «قوانين الفيزياء ستسمح بكمية كافية من المادة الغريبة في الثقوب الدودية من مقاس البشر لتبقي الثقب مفتوحا. لكن سيتبين أيضا أن التقانة لصنع الثقوب الدودية[8] وإبقائها مفتوحة هي فوق إمكانات حضارتنا الإنسانية بكثير».

وثانيا، لا نعلم مدى استقرار هذه الثقوب الدودية. فالإشعاع المولد من هذه الثقوب قد يقتل أي شخص يدخل إليها. أو ربما لن تكون هذه الثقوب مستقرة على الإطلاق بحيث إنها تغلق حالما يدخل شخص إليها.

وثالثا، ستنزاح أشعة الضوء الساقطة على الثقوب السوداء نحو الأزرق، أي أنها ستحصل على مزيد من الطاقة مع اقترابها من أفق الحدث. وفي الحقيقة فإن الضوء في أفق الحدث نفسه منزاح تقنيا بشكل لا نهائي نحو الأزرق، وبالتالي فإن الإشعاع من هذه الطاقة الساقطة يمكنه أن يقتل أي شخص داخل صاروخ.

دعنا نناقش هذه المسائل بشيء من التفصيل. إحدى المشاكل هي تجميع كمية كافية من الطاقة لتمزيق نسيج الزمان والمكان. الطريقة الأبسط لتحقيق ذلك هي ضغط مادة حتى تصبح أصغر من «أفقها الحدثي». وبالنسبة إلى الشمس فهذا يعني ضغطها حتى يصبح قطرها

أقل من ميلين، حيث ستنهار إلى ثقب أسود (جاذبية الشمس صغيرة جدا لضغطها طبيعيا إلى ميلين، وبالتالي فإن شمسنا لن تصبح ثقبا أسود على الإطلاق. ومن حيث المبدأ، فهذا يعني أن أي شيء، حتى أنت، يمكن أن يصبح ثقبا أسود لو ضغطت بما يكفي. وسيعني هذا ضغط الذرات كلها في جسمك إلى أصغر من المسافات تحت الذرية، وهذا العمل فوق قدرات العلم الحديث).

الطريقة الأكثر عمليا ستكون تجميع بطارية من أشعة الليزر لإطلاق شعاع شديد على بقعة مُحددة. أو بناء محطم ذرة ضخم لخلق حزمتين من الأشعة ستصطدمان إحداهما بالأخرى عند طاقات هائلة كافية لتخلق تمزقا صغيرا في نسيج الزمكان.

طاقة بلانك ومسرعات الجسيمات

يمكن للمرء أن يحسب الطاقة اللازمة لخلق عدم استقرار في الزمان والمكان : إنه من قياس طاقة بلانك، أو 1019 مليار إلكترون فولت، وهذا بالفعل رقم هائل لا يمكن تصوره، وهو أكبر بكادرليون مرة من الطاقة التي يمكن الحصول عليها من أقوى الآلات حاليا، وهي محطم هاردون الكبير (LHC) الموجود خارج جنيف في سويسرا. يستطيع هذا المحطم أرجحة البروتونات في «كعكة دونت» كبيرة حتى تصل إلى طاقات من تريليونات الإلكترون فولت، وهي طاقات لم تشاهد منذ الانفجار الكبير، لكن حتى تلك الآلة الوحش أصغر بكثير من أن تنتج طاقة قريبة من طاقة بلانك.

سيكون مسرع الجسيمات التالي بعد مسرع LHC هو المصادم الخطي الدولي (ILC). وبدلا من حني مسارالجسيمات تحت الذرية إلى دائرة فإن الـ LIC سوف يطلقها في مسار مستقيم. وسوف تحقن الطاقة أثناء انتقال الجسيمات على هذا المسار حتى تكتسب طاقات عالية جدا. ثم سيرتطم شعاع من الإلكترونات مع مضاد الإلكترونات، مما يخلق انفجارا ضخما من الطاقة. وسيكون الـ LIC بطول 30 إلى 40 كم، أو 10 مرات طول مسرع ستانفورد الخطي الذي يعتبر أضخم مسرع خطي حاليا. ولو سار كل شيء على ما يرام سينتهي العمل بمسرع LIC في العقد المقبل.

وستكون الطاقة المنتجة من الـ LIC من 0.5 إلى 1 تريليون إلكترون فقط - وهي أقل من 14 تريليون إلكترون فولت للـ LHC - لكن هذا مضلل. (في الـ LHC يتم الاصطدام بين البروتونات عبر الكواركات المؤلفة للبروتونات. وبالتالي فالاصطدامات التي تتم عبر الكواركات تنتج أقل من 14 تريليون إلكترون فولت. وهذا هو سبب إنتاج الـ LIC لطاقات اصطدام أكبر من تلك التي ينتجها الـ LHC). وأيضا بما أنه لا يوجد عنصر مؤلف للإلكترون، فإن الاصطدامات بين الإلكترون ومضاد الإلكترون أبسط وأنظف.

لكن في الحقيقة يفشل الـ LIC أيضا في فتح ثقب في الزمكان. ولكي يتم هذا فستحتاج إلى مسرع أقوى بكوادرليون مرة. وبالنسبة إلى حضارتنا من النوع صفر والتي تستخدم نباتات ميتة كوقود (النفط والفحم الحجري على سبيل المثال)، فإن هذه التقانة أبعد عن أي شيء يمكن أن نستخدمه. لكنه قد يصبح ممكنا لحضارة من النوع الثالث.

تذكر أن حضارة من النوع الثالث، وهي حضارة مجرية من حيث استخدامها للطاقة، تستهلك طاقة أكبر بـ 10 مليارات مرة من حضارة من النوع الثاني، والتي يأتي استهلاكها للطاقة من كوكب واحد. وخلال 100 أو 200 عام ستصل حضارتنا الضعيفة من النوع صفر إلى حضارة من النوع الأول.

ونظرا إلى هذا التنبؤ، فإننا بعيدون جدا من تحقيق طاقة بلانك. يعتقد العديد من الفيزيائيين أن الفضاء عند مسافات صغيرة جدا، كمسافة بلانك بحوالي 10^{-33} سم، ليس فارغا أو ناعما، لكنه يصبح «فقاعيا»، حيث يغلي بفقاعات ضئيلة جدا تنبعث للوجود بشكل مستمر وترتطم بفقاعات أخرى، ثم تعود لتختفي مرة أخرى في الفراغ. هذه الفقاعات التي تنطلق من الفراغ وتعود إليه هي عبارة عن «أكوان افتراضية» مشابهة كثيرا للجسيمات الافتراضية من الإلكترونات ومضادات الإلكترونات التي تأتي للوجود ثم تختفي بعد ذلك.

عادة، فإن هذه «الرغوة» الزمكانية الكوانتومية غير مرئية تماما لنا. تتشكل هذه الفقاعات عند مسافات ضئيلة جدا، بحيث لا نستطيع ملاحظتها. لكن ميكانيكا الكوانتم تقترح أننا لو ركزنا طاقة كافية في

نقطة واحدة حتى نصل إلى طاقة بلانك فيمكن لهذه الفقاعات أن تصبح أضخم. وعندها سنرى الزمكان يغلي بفقاعات ضئيلة جدا، بحيث تكون كل فقاعة عبارة عن ثقب دودي متصل بـ «كون وليد».

في الماضي، اعتبرت هذه الأكوان الوليدة فضولا علميا، ونتيجة غريبة من نتائج الرياضيات البحتة. لكن الفيزيائيين الآن يفكرون جديا في أن كوننا هذا ربما نشأ كواحد من هذه الأكوان الوليدة.

مثل هذا التفكير مجرد تخمين. لكن قوانين الفيزياء تسمح بإمكانية فتح ثقب في المكان بتركيز طاقة كافية عند نقطة واحدة حتى نصل إلى رغوة زمكان وتخرج الثقوب الدودية التي تصل بين كوننا وكون وليد.

يتطلب الحصول على ثقب في الفضاء بالطبع اختراقات رئيسة في تقانتنا، لكن مرة أخرى قد يكون هذا ممكنا لحضارة من النوع الثالث. على سبيل المثال، حصلت تطورات واعدة فيما دعي «مسرع ويكفيلد المنضدي». ومن الملاحظ أن محطم الذرات هذا صغير جدا بحيث يمكن وضعه فوق طاولة، ومع ذلك يولد مليارات الإلكترونات فولت من الطاقة. يعمل مسرع ويكفيلد على إطلاق أشعة ليزرية على جسيمات مشحونة تقوم بعد ذلك بالركوب فوق طاقة شعاع الليزر. أظهرت التجارب التي أجريت في مركز المسرع الخطي في ستانفورد ومختبر روذفورد أبلتون في إنجلترا والبوليتكنيك في فرنسا أن من الممكن إحداث تسارعات هائلة على مدى مسافات صغيرة باستخدام أشعة الليزر والبلازما لحقن الطاقة.

ومع ذلك تحقق اختراق آخر العام 2007 عندما بين الفيزيائيون والمهندسون في مركز المسرع الخطي في ستانفورد أن في إمكانك مضاعفة طاقة مسرع جسيمات ضخم بمقدار متر فقط. بدأوا بشعاع من الإلكترونات التي تطلق في أنبوب بطول ميلين في ستانفورد ليصل إلى طاقة تبلغ 42 مليار إلكترون فولت. ثم ترسل الإلكترونات عالية الطاقة من خلال «الحراق اللاحق» (AfterBurner) الذي يتألف من غرفة بلازما بطول 88 سم فقط، حيث تلتقط الإلكترونات 42 مليار إلكترون فولت إضافية تضاعف طاقتها (تملأ غرفة البلازما بغاز الليثيوم. ومع مرور الإلكترونات خلال الغاز فإنها تخلق موجة بلازما التي بدورها تخلق

سحابة وراءها. تتدفق هذه السحابة بدورها إلى خلف شعاع الإلكترون ثم تدفعه إلى الأمام وتعطيه دفعا إضافيا) وبهذا الإنجاز الرائع طور الفيزيائيون بعامل 3 آلاف السجل السابق لكمية الطاقة لكل متر التي تستطيع تسريع شعاع من الإلكترونات. بإضافة مثل هذه «الحراقات اللاحقة» إلى المسرعات الموجودة يستطيع المرء، من حيث المبدأ، أن يضاعف طاقتها بشكل مجاني تقريبا.

إن الرقم القياسي العالمي الحالي لمسرع ويكفيلد المنضدي هو 200 مليار إلكترون فولت لكل متر. وهناك مشاكل عديدة لزيادة مقياس هذه النتيجة لمسافات أطول (مثل الحفاظ على استقرارية الشعاع في أثناء ضخ طاقة الليزر إليه). لكن بافتراض أنه يمكننا الحفاظ على مستوى من الطاقة يعادل 200 مليار إلكترون فولت لكل متر، وهذا يعني أن المسرع القادر على الوصول إلى طاقة بلانك يجب أن يكون بطول 10 سنوات ضوئية. وهذا يدخل ضمن إمكانية حضارة من النوع الثالث.

ربما تعطينا الثقوب السوداء والمكان الممدد الطريقة الأكثر واقعية لكسر حاجز الضوء. لكن ليس من المعلوم ما إذا كانت هذه التقانات مستقرة. ولو كانت كذلك، فمازال الأمر يتطلب كميات هائلة من الطاقة، سواء كانت سالبة أو موجبة، لجعلها تعمل.

وربما امتلكت حضارة من النوع الثالث مسبقا هذه التقانة. وقد يستغرق الأمر ألف سنة قبل أن نستطيع مجرد التفكير في تطويع طاقة بهذا المقياس. وبما أنه لازال هناك جدل حول القوانين الأساس التي تحكم نسيج الزمكان على المستوى الكوانتومي، فسأصنف هذا على أنه استحالة من الصنف الثاني.



12

السفر عبر الزمان

«لو أن السفر عبر الزمان ممكن إذن أين هم السياح من المستقبل؟»

ستيفن هوكنغ

قال فيلبي: «السفر عبر الزمان ضد المنطق». فقال المسافر عبر الزمان: «أي منطق؟».

إتش. جي. ويلز

«تتسق آلة زمان تأخذنا نحو المستقبل مع نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين. ولكن ماذا عن السفر رجوعا نحو الوراء في الزمان؟»

المؤلف

استكشف الكاتب جي سبرويل في الرواية معادلة جانوس[1] (Janus Equation) إحدى المشاكل المزعجة بالنسبة إلى السفر عبر الزمان. في هذه الرواية يتلاقى رياضي لامع هدفه اكتشاف سر السفر عبر الزمان مع امرأة جميلة غريبة عنه، ويصبحان عاشقين، على الرغم من أنه لا يعرف شيئا عن ماضيها. ثم يبدأ بالاهتمام بالكشف عن

هويتها الحقيقية. وفي النهاية يكتشف أنها أجرت مرة عملية تجميلية لتغيير ملامحها. وكذلك فقد أجرت عملية لتغيير جنسها. وفي النهاية يكتشف أنها في الحقيقة مسافرة عبر الزمان من المستقبل، وأنها في الحقيقة هو، لكنه جاء من المستقبل. ويعني هذا أنه مارس الجنس مع نفسه. ويترك المرء وهو يتساءل: ما الذي كان سيحدث لو أنهما رزقا طفلا؟ ولو سافر هذا الطفل إلى الماضي عبر الزمان لينمو ويصبح الرياضي في بداية هذه القصة، لكان من المحتمل أن تكون أنت أمك وأباك وابنك وابنتك؟

تغيير الماضي

الزمان أحد أعظم أسرار الكون. فنحن كلنا ننجرف بنهر الزمان ضد إرادتنا. كتب القديس أوغسطين نحو 400 م بالتفصيل حول طبيعة الزمان الغريبة: «كيف يكون الماضي والمستقبل، عندما لم يعد هناك ماض ولم يأت المستقبل بعد؟ أما بالنسبة إلى الحاضر، فلو كان حاضرا دوما ولم يتحرك أبدا[2] ليصبح الماضي، فلن يكون زمانا بل خلود». لو استمددنا منطق أوغسطين أكثر، نرى أن الزمان غير ممكن، لأن الماضي ذهب والمستقبل غير موجود والحاضر يستمر لحظة فقط. (طرح القديس أوغسطين بعد ذلك أسئلة دينية عميقة حول تأثير الزمان على الله، وهي أسئلة ما زالت مهمة إلى الآن. لو كان الله قادرا ومهيمنا على كل شيء، كما كتب، إذن فهل يتأثر بمرور الزمان؟ بعبارة أخرى، هل على الله - كما هو شأننا نحن الفانين من البشر - أن يسرع لأنه تأخر عن موعد ما؟ لقد استنتج القديس أوغسطين في النهاية أن الله قادر على كل شيء وبالتالي لا يمكن تقييده بالزمان، ولا بد أنه «خارج الزمن». وعلى الرغم من أن فكرة كون المرء خارج الزمن تبدو سخيفة، فإن هذه الفكرة تتكرر في الفيزياء الحديثة كما سنرى لاحقا).

ومثل القديس أوغسطين، تساءلنا جميعا في وقت ما حول الطبيعة الغريبة للزمان، وكيف أنه يختلف عن المكان. لو أن بإمكاننا التحرك إلى الأمام والخلف في المكان، فلم لا نستطيع فعل الشيء نفسه بالنسبة إلى

الزمان؟ وتساءلنا جميعا أيضا ما الذي يحمله المستقبل لنا بعد أن نقضي عمرنا. فللبشر عمر محدد، لكننا شديدو الفضول لمعرفة ما الذي سيحدث لنا بعد أن نموت.

وعلى الرغم من أن رغبتنا في السفر عبر الزمان ربما كانت قديمة بقدم البشرية، فإن من الواضح أن قصة السفر عبر الزمان الأولى هي «مذكرات القرن العشرين»(*) التي كتبت عام 1733 من قبل صامويل مادن حول ملاك من عام 1997 يرحل 250 سنة في الماضي ليسلم وثائق إلى سفير بريطاني تصف عالم المستقبل.

سيكون هناك عدد أكبر من هذه القصص. تدور القصة القصيرة «عدم اللحاق بالحافلة: مفارقة زمنية»(**) لكاتب غير معروف حول شخص ينتظر الحافلة ليجد نفسه فجأة وقد عاد ألف عام إلى الوراء. ويلتقي راهبا من دير قديم ويحاول أن يشرح له كيف سيتقدم التاريخ للألف عام المقبلة. وبعد ذلك يجد نفسه فجأة وقد نقل بالطريقة السرية نفسها إلى الحاضر ما عدا أنه لم يلحق بحافلته.

وحتى رواية تشارلز ديكنز المنشورة في العام 1843 «أغنية عيد الميلاد»(***)، هي نوع من قصص السفر عبر الزمان، لأن ايبنزير سكروج يؤخذ إلى الماضي والمستقبل ليشهد العالم قبل الحاضر وبعد موته.

يعود ظهور السفر عبر الزمان في الأدب الأمريكي إلى رواية مارك توين عام 1889.. «يانكي من كوناكتيكت في حاشية الملك آرثر»(****). يؤخذ أمريكي يانكي إلى الماضي عبر الزمن لينتهي به المطاف في بلاط الملك آرثر عام 528م. ثم يؤخذ أسيرا وعلى وشك أن يحرق على المنصة، لكنه يعلن بعد ذلك أن لديه القوة لحجب الشمس، وهو يعلم أن كسوف الشمس سيحدث في هذا اليوم بالذات. وعندما تكسف الشمس يذعر الغوغاء ويوافقون على إطلاق سراحه ومنحه امتيازات كمقابل لعودة الشمس إلى الظهور.

(*) Memoirs of the Twentieth Century.

(**) Missing One's Coach: An Anachronism.

(***) A Christmas Carol.

(****) A Connecticut Yankee in King Arthur's Court.

لكن المحاولة الجادة الأولى لاستكشــاف الســفر عبر الزمان في الرواية كانت رواية إتش. جي. ويلز الكلاسيكية «آلة الزمن» (*)، حيث يرســل البطل فيها مئات الآلاف من السنين إلى المستقبل. وفي ذلك المستقبل البعيد تنقسم البشرية نفسها جينيا إلى عنصرين: المورلوك الأشرار الذين يحتفظون بالآلات القذرة تحت الأرض، والإيلوي الذين لا فائدة منهم ويتصرفون كالأطفال ويرقصون تحت أشــعة الشــمس فــي العالم العلوي ولا يدركون مصيرهــم البائس (وهو أن يؤكلوا من قبل المورلوك).

ومنذ ذلك الوقت أصبح السفر عبر الزمان موضوعا مكررا في قصص الخيال العلمي من ســتار ترك إلى العودة للمستقبل. وفي فيلم سوبرمان، حين يعلم سوبرمان أن لويس لين ماتت، يقرر في حالة يأسه أن يعيد الزمن إلى الوراء، ويدور في صاروخ حول الأرض بأســرع من سرعة الضوء حتى يعود الزمان نفسه إلى الوراء. تبطئ الأرض ثم تقف، وفي النهاية تدور في الاتجاه المعاكس حتى تدور الســاعات علــى الأرض كلها إلى الوراء. وتعود مياه الفيضانات إلى الوراء وتصلح السدود المهدمة نفسها وتعود لويس لين إلى الحياة من الممات.

ومن وجهة نظر العلم، كان السفر عبر الزمان مستحيلا في كون نيوتن، حيث ينظر إلى الزمان على أنه على شكل سهم باتجاه واحد، إذا ما انطلق فلن ينحرف عن مســاره في الماضي. والثانية على الأرض هي ثانية خلال الكون بأكمله. لقد قلب آينشــتاين هذا المبدأ وبيّن أن الزمان أشــبه بنهر يتجول خلال الكون، حيث يسرع ويبطئ أثناء مروره عبر النجوم والمجرات. وبالتالي فالثانية على الأرض ليست مطلقة: فالزمان يتغير عندما نتحرك في أرجاء الكون.

وكما ناقشــت مسبقا، بحسب نظرية آينشتاين في النسبية الخاصة يبطئ الزمان داخل الصاروخ كلما زادت سرعته. لقد خمن كتاب الخيال العلمي أنك لو كســرت حاجز الضوء فســيمكنك العودة إلى الوراء في الزمــان. لكن هذا غير ممكن لأنه يجب أن تكون كتلتك لا نهائية لتصل

(*) The Time Machine

إلى سـرعة الضوء. فسـرعة الضوء هي الحاجز النهائي لأي صاروخ. يختطف ركاب السـفينة إنتربرايز في مسلسل ستار ترك: رحلة العودة إلى الوطن سفينة فضاء كلينغون ويستخدمونها للالتفاف حول الشمس مثل طلقة مقلاع، ويكسـرون حاجز الضوء لينتهوا في سان فرنسيسكو في ستينيات القرن الماضي. لكن هذا يتحدى قوانين الفيزياء.

ومع ذلك فالسفر عبر الزمان نحو المستقبل ممكن، وقد تم التحقق منـه مخبريا ملايين المـرات. إن رحلة بطل آلة الزمن نحو المسـتقبل البعيد ممكنة فيزيائيا. لو سـافر رائد فضاء بسرعة قريبة من سرعة الضوء فقد يسـتغرق دقيقة واحدة للوصول إلى أقرب النجوم. وستمر أربع سـنوات على الأرض لكن بالنسـبة إليه فقد مـرت دقيقة واحدة فقط، لأن الزمان سـيتباطأ داخل سـفينته الصاروخية. لذا فسيكون قد سـافر أربع سنوات نحو المستقبل كما هي الحال على الأرض. (في الحقيقـة يأخذ رواد الفضاء لدينا رحلة قصيرة نحو المسـتقبل في كل مرة يذهبون فيها إلى الفضاء. فمع سـفرهم بسرعة 18 ألف ميل في السـاعة فوق الأرض، تدق سـاعاتهم أبطأ بجزء بسـيط من ساعات الأرض. وبالتالـي، بعد رحلة لسـنة في محطة الفضاء، فقد سـافروا جزءا من الثانية في المستقبل في الوقت الذي يعودون فيه إلى الأرض. الرقم العالمي للسـفر نحو المستقبل يحمله حاليا رائد الفضاء الروسي سـيرجي أفدييف الذي دار حول الأرض لمدة 748 يوما، وبالتالي فقد رحل 0.02 ثانية نحو المستقبل)

لذا تتسـق آلة زمان تأخذنا نحو المستقبل مع نظرية النسبية الخاصة لآينشتاين. ولكن، ماذا عن السفر رجوعا نحو الوراء في الزمان؟

لـو اسـتطعنا أن نرحل إلى الماضي فسـيكون من المسـتحيل كتابة التاريخ. فحالما يسـجل مؤرخ ما التاريخ، يمكن لشخص ما أن يعود إلى الماضـي ويعيد كتابته. لن تجعـل آلات الزمان المؤرخين بلا عمل، لكنها سـتمكننا أيضا من تغيير مسـار الزمان كما نريـد. لو عدنا إلى حقبة الديناصورات على سـبيل المثال، ودسـنا بالمصادفـة على حيوان ثديي صدف أنه كان جدّنا، فلربما محونا بالمصادفة الجنس البشري بأكمله.

وسيصبح التاريخ حلقة مجنونة لا تنتهي من «مونتي باثيون» (*) حيث يدوس سياح من المستقبل على حوادث تاريخية، وهم يحاولون الحصول على أفضل زاوية لالتقاط صورة.

السفر عبر الزمن: ملعب الفيزيائيين

ربما كان عالم الكون ستيفن هوكنغ أفضل من تميز بالعلاقات الرياضية المعقدة للثقوب السوداء وآلات الزمن. وعلى النقيض من طلاب النسبية الآخرين الذين غالبا ما يميزون أنفسهم في الفيزياء الرياضية في سن مبكرة، لم يكن هوكنغ طالبا مميزا حقا في شبابه. من الواضح أنه كان ذكيا جدا، لكن معلميه لاحظوا أنه لا يركز على دراسته ولم يحقق كل إمكاناته. لكن نقطة التحول جاءت عام 1962، بعد أن تخرج في جامعة أكسفورد، عندما بدأ لأول مرة يلاحظ أعراض مرض ALS (التصلب الجانبي الضموري، أو مرض لو غيهريغ) (**). صدم بالأنباء أنه يعاني مرض الأعصاب هذا الذي لا يمكن معالجته، والذي سيحرمه من وظائف الحركة كلها، وربما سيقتله قريبا. كانت الأخبار في البداية مزعجة جدا. ما فائدة الدكتوراه إذا كان سيموت قريباً على أي حال؟

لكنه ما كاد يتغلب على الصدمة الأولى حتى أصبح عاقد العزم للمرة الأولى في حياته. وعندما أدرك أن منيته قريبة، بدأ بحماس يعالج أكثر المسائل تعقيدا في النسبية العامة. وفي أوائل السبعينيات نشر سلسلة من الأوراق المميزة أظهرت أن «المنفردات singularities» في نظرية آينشتاين (حيث يصبح حقل الجاذبية لا نهائيا، شأنه عند مراكز الثقوب السوداء وعند لحظة الانفجار الكبير) كانت خاصة أساسية في النسبية ولا يمكن استبعادها بسهولة (كما اعتقد آينشتاين). وفي العام 1974 برهن هوكنغ أيضا أن الثقوب السوداء ليست سوداء تماما لكنها تصدر بالتدريج إشعاعا

(*) Monty Python. هي فرقة كوميدية بريطانية اتخذت أعمالها طابعا سيرياليا ساخرا. قدمت في السنوات 1969 - 1983 أعمالا مسرحية وتلفزيونية وسينمائية اختلفت في أسلوبها ومحتواها عن كل مألوف [المحررة].

(**) Amyotrophic Lateral Sclerosis.

يعرف الآن بإشعاع هوكنغ لأن الإشعاع يمكنه النفوذ خلال حقل جاذبية حتى الثقب الأسود. شكلت هذه الورقة أول تطبيق رئيس لنظرية الكوانتم على النظرية النسبية وتمثل أفضل أعماله.

وكما تم التنبؤ، فقد أدى ALS ببطء إلى شلل يديه ورجليه وحتى حباله الصوتية، لكن بمعدل أبطأ مما توقعه الأطباء مسبقا. ونتيجة لهذا مر بالعديد من المراحل العادية لأناس عاديين، فقد أصبح أبا لثلاثة أطفال (هو الآن جد)، وطلق زوجته الأولى عام 1991 وتزوج بعد أربع سنوات بزوجة الرجل الذي صنع مولّد صوته، ثم طلب الطلاق من زوجته الثانية عام 2006. وفي عام 2007 احتلت أنباؤه العناوين العريضة عندما سافر في طائرة نفاثة أرسلته إلى حالة انعدام الوزن، محققا رغبة حياته. أما رغبته التالية فهي الانطلاق إلى الفضاء الخارجي.

واليوم فهو مشلول تماما في كرسيه المتحرك، ويتصل بالعالم الخارجي بتحريك عينيه. ومع ذلك، على الرغم من عجزه الشديد، مازال يقول النكات ويكتب الأوراق العلمية ويلقي المحاضرات ويدخل في مجادلات. إنه أكثر إنتاجا بتحريك عينيه من فرق من العلماء يتحكمون بشكل كامل بأجسامهم. (أسر لي مرة زميله في جامعة كامبردج، السير مارتن ريز، الذي عين فلكيا ملكيا من قبل الملكة بأن عجز هوكنغ يمنعه من إجراء الحسابات الصعبة اللازمة لحفاظه على الصدارة. لذا فبدلا من ذلك يركز على توليد أفكار جديدة وطازجة بدلا من معالجة حسابات معقدة يمكن لطلابه القيام بها).

في العام 1990 قرأ هوكنغ أوراقا علمية لزملائه تقترح نسختهم من آلة الزمان، وأصبح متشككا على الفور. لقد أخبرته غريزته أن السفر عبر الزمان ليس ممكنا لأنه لا يوجد سياح من المستقبل. لو كان السفر عبر الزمان شائعا مثل التنزه في حديقة، فسيزعجنا المسافرون من المستقبل بكاميراتهم ويطلبون منا أن نقف لنتصور لألبوماتهم.

أثار هوكنغ أيضا تحديا لعالم الفيزياء. لقد زعم أنه لا بد من وجود قانون يحظر السفر عبر الزمان. اقترح «فكرة حماية التأريخ» لحظر السفر عبر الزمان باستخدام قوانين الفيزياء «لجعل التاريخ آمنا للمؤرخين».

لكن الشيء المحرج هو أنه مهما حاول الفيزيائيون فإنهم لم يعثروا على قانون فيزيائي يمنع السـفر عبر الزمان. ويبدو من الواضح أن السفر عبر الزمان يتسق مع قوانين الفيزياء المعروفة. ولعدم استطاعته العثور على أي قانون فيزيائي يجعل السـفر عبر الزمان مستحيلا، فقد غير هوكنغ رأيه أخيـرا. وقد احتل تصريحه العناوين العريضة في صحف لندن حين قال: «قد يكون السفر عبر الزمان ممكنا، لكنه ليس عمليا».

وفيما اعتبر مرة علما ثانويا، أصبح السـفر عبـر الزمان فجأة ملعبا لعلمـاء الفيزيـاء النظريـة. ويكتب الفيزيائـي ريب ثورن مـن كالفورنيا كالتيك: «كان السـفر عبر الزمان فيما مضى ميدانا خاصا لكتاب قصص الخيال العلمي. وقـد تجنبه العلماء كأنه وباء – حتى عندما كتبوا الخيال العلمي بأسـماء مسـتعارة أو قرأوه سـرا. كم تغير الزمن! يجد المرء الآن تحليلات علمية للسـفر عبر الزمان في مجلات علمية محترمة كتبت من قبل فيزيائيين نظريين مرموقين... لماذا هذا التغير؟ السـبب هو أننا نحن الفيزيائيـين أدركنا أن طبيعة الزمـان[3] قضية مهمة جدا بحيث يجب ألا تترك بين أيدي كتاب الخيال العلمي وحدهم».

كان سبب كل هذه الفوضى والإثارة هو أن معادلات آينشتاين تسمح بأنـواع عدة مـن آلات الزمان. (فيما إذا كانت سـتتغلب على تحديات نظرية الكوانتم لا يزال موضع شـك). وفي الحقيقة، كثيرا ما نصادف في نظرية آينشـتاين شـيئا دعـي «منحنيات مغلقة شـبيهة بالزمان»، (Closed time-like curves) وهـو المصطلح العلمي للمسـارات التي تسـمح بالسـفر عبر الزمان إلى الماضي. لو تقفينا مسار منحنى مغلق شبيه بالزمان فسنبدأ برحلة ونعود قبل أن نغادر.

تشـمل آلة الزمان الأولـى ثقبا دوديا. وهناك حلـول عديدة لمعادلات آينشـتاين تصـل نقطتين بعيدتين فـي الفضاء. وبما أن الزمـان والمكان متداخلان بشـكل وثيق في نظرية آينشـتاين، فيمكن لهذا الثقب الدودي أن يصـل بين نقطتين في الزمان. وبالسـقوط داخل ثقـب دودي يمكنك السـفر في الماضي (رياضيـا على الأقل). يمكنك بعدها أن تسـافر إلى نقطة البداية الأولى لتلتقي بنفسـك قبل أن تكـون قد غادرت. ولكن كما

ذكرنا في الفصل السابق، إن المرور عبر الثقب الدودي في مركز ثقب أسود رحلة باتجاه وحيد. وكما قال الفيزيائي ريتشارد غوت: «لا أعتقد أن هناك أي شك[4] في إمكانية سفر الإنسان رجوعا في الزمان عبر ثقب أسود. السؤال هو هل يستطيع الخروج منه ليتفاخر حول ذلك».

تتضمن آلة زمان أخرى كونا يلف حول ذاته. لقد وجد الرياضي كورت غودل عام 1949 أول حل لمعادلات آينشتاين تتضمن السفر عبر الزمان. لو أن الكون يلف عندها لو سافرت حول الكون بسرعة كافية فقد تجد نفسك في الماضي وتصل قبل أن تغادر. فالرحلة حول الكون هي بالتالي رحلة إلى الماضي. وعندما يزور الفلكيون معهد الدراسات المتقدمة يسألهم غودل مرارا فيما إذا عثروا على دليل على أن الكون يلف. وكان ييأس عندما يخبرونه أن هناك بوضوح دليل على أن الكون قد تمدد، لكن حصيلة اللف للكون ربما كانت صفرا. (وبعبارة أخرى، قد يكون السفر عبر الزمان عاديا، وينهار التاريخ كما نعرفه).

وثالثا، لو مشيت حول أسطوانة دوارة لا متناهية الطول، فقد تصل أيضا قبل أن تكون قد غادرت. (وجد الحل من قبل فان ستوكوم عام 1936، قبل حل غودل في السفر عبر الزمان، لكن من الواضح أن فان ستوكوم لم يعرف أن حله سمح بالسفر عبر الزمان). في هذه الحالة، لو رقصت حول عمود مايو في اليوم الأول من مايو(*) فقد تجد نفسك في شهر أبريل. (المشكلة في هذا التصميم مع ذلك هو أن الأسطوانة يجب أن تكون لا متناهية الطول، وأن تلف بسرعة كافية بحيث تتطاير معظم المواد حولها).

عثر على أحدث مثال عن السفر عبر الزمان من قبل ريتشارد غوت من جامعة برنستون عام 1991. تأسس حله على العثور على خيوط كونية ضخمة (يمكن أن تكون بقايا الانفجار الأولي الكبير). افترض أن خيطين كونيين كبيرين على وشك أن يصطدما. لو سافرت بسرعة حول هذين الخيطين المتصادمين، فسوف تسافر رجوعا في الزمان. ميزة

(*) عمود مايو May Pole، هو عمود أو سارية تزين بحبال ملونة يمسك بأطرافها الراقصون في عطلة الأول من مايو، احتفالا بالربيع أو بالعمال [المحررة].

هذا النـــوع من آلة الزمان هي أنك لن تحتاج إلى أســـطوانات تلف بلا نهاية، أو أكوان تلف، أو ثقوب ســـوداء. (لكن المشكلة في هذا التصميم هـــو أن عليك أن تجد أولا خيوطا كونية ضخمـــة تعوم في الفضاء، ثم تجعلها تصطدم بطريقة محددة. وســـيدوم احتمال الرجوع في الزمان لفتـــرة قصيرة فقط). كما يقول غـــوت: «دارة منهارة من الخيوط كبيرة بما يكفي[5] لتســـمح لك بالدوران حولها مرة واحدة ثم ترجع إلى الوراء في الزمان ســـنة واحدة يجب أن يكون لها أكثر من نصف طاقة - كتلة مجرة بأكملها».

لكن التصميم الأكثر وعدا لآلة زمان هو «ثقب دودي قابل للعبور» الذي ذكر في الفصل الســـابق، وهو ثقب في الزمكان يمكن للشـــخص أن يسير إلى الأمام والخلف في الزمان عبره. ونظريا، يمكن للثقوب الدودية القابلة للعبور أن تقدم ليس فقط سفرا أسرع من سرعة الضوء، ولكن أيضا سفرا عبر الزمان. إن المفتاح لثقوب دودية قابلة للعبور هو الطاقة السالبة.

تتألـــف آلة زمان على شـــكل ثقب دودي قابـــل للعبور من حجرتين. تتألـــف كل حجرة من كرتين متمركزتين معزولتين إحداهما عن الأخرى بمســـافة ضئيلة. وبتفجير الكرة الخارجية نحو الداخل، تخلق الكرتان تأثير كاســـيمير، وبالتالي طاقة ســـالبة. افتـــرض أن حضارة من النوع الثالث قادرة على مد ثقب دودي بين هاتين الحجرتين (ربما تســـتخلص إحداهما من رغـــوة الزمكان). الآن، خذ الحجرة الأولى وأرســـلها إلى الفضاء بسرعة قريبة من سرعة الضوء. يبطئ الزمان في هذه الحجرة بحيث لا تبقى الساعتان متزامنتين. ويدور الزمن بمعدلات مختلفة في الحجرتين الموصولتين بثقب دودي.

لو كنت في الحجـــرة الثانية، يمكنك أن تمر فورا خلال الثقب الدودي إلى الحجرة الأولى التي توجد في زمن أسبق. وبالتالي تكون قد عدت إلى الوراء في الزمان.

هناك مشاكل صعبة تواجه هذا التصميم. قد يكون الثقب الدودي صغيـــرا جدا وأصغر بكثير من ذرة. وربما وجب ضغط الصفائح حتى مســـافات بطول ثابـــت بلانك لخلق كمية كافية من الطاقة الســـالبة.

وأخيـــرا يمكنك العودة فـــي الزمن إلى الوراء فقط إلـــى النقطة التي بنيت عندها آلات الزمن. وقبل ذلك، كان الزمان في الحجرتين يســـير بالمعدل نفسه.

مفارقات وأحجيات الزمن

يثير السفر عبر الزمان مشاكل تقنية واجتماعية أيضا. أثار لاري دواير القضايا الأخلاقية والقانونية والمبدئية حين قال: «هل يجب اتهام المسافر عبر الزمان الذي لكم نفســه عندما كان صغيـــرا (أو العكس) بالاعتداء؟ هل يجب محاكمة مســـافر عبر الزمان يغتال شخصا ثم يهرب إلى الماضي للاختباء فيه عن جرائم ارتكبها في المستقبل؟ لو أنه تزوج في الماضي، هل يمكن محاكمته بتعدد الزوجات[6] حتى لو لم تكن زوجته الأخرى قد ولدت لحوالي 5000 سنة؟».

لكن ربما كانت المسائل الأصعب تتعلق بالمفارقات المنطقية التي يثيرها الســـفر عبر الزمان. على ســـبيل المثـــال، ما الذي يحدث لـــو قتلنا آباءنا قبل أن نولد ؟ هذه اســـتحالة منطقية. وتدعـــى أحيانا بـ «مفارقة الجد» (Grandfather Paradox).

هناك ثلاث طرق لحل هذه المفارقات. أولا، ربما تكرر ببساطة التاريخ الســـابق عندما تعود في الزمان، وبالتالي تحقق الماضي. وفي هذه الحالة، ليـــس لديك خيار. فأنت مضطر إلى إتمـــام الماضي كما كتب. وبالتالي لو رجعت في الماضي لتعطي ســـر السفر عبر الزمان لنفسك في سن أصغر، فهذا يعني أنها لا بد أن تحدث بتلك الطريقة. لقد أتى ســـر الســـفر عبر الزمان من المســـتقبل. كان هذا مقررا. (لكن هـــذا لا يخبرنا من أين أتت الفكرة الأصلية).

ثانيا، لديك إرادة حرة، وبالتالي تســـتطيع أن تغير الماضي، ولكن ضمن حدود. لا يسمح لإرادتك الحرة بأن تخلق مشكلة زمنية. فكلما حاولت قتل والديك قبل أن تولد، تمنعك قوة ســـرية مـــن إطلاق النار. دافع الفيزيائي الروســـي إيغور نوفيكوف عن هذا الموقف (يحاجج إيغور بأن هناك قانونا يمنعنا من الســـير على السقف، على الرغم من أننا قد نود ذلك. وبالتالي

قـد يكون هناك قانون يمنعنـا من قتل آبائنا قبـل أن نولد. قانون غريب يمنعنا من الضغط على الزناد).

ثالثا، ينشـطر الكون إلى كونين. على أحد المسـارات الزمنية، فإن الأشـخاص الذين قتلتهم يبدون فقط مثل والديـك لكنهما مختلفان، لأنـك الآن في كـون مواز لكونك. ويبدو أن هـذا الاحتمال الأخير هو الذي يتسق مع نظرية الكوانتم، كما سأناقش لاحقا عندما سأتكلم عن الكون المتعدد.

استكشـف الاحتمال الثاني في الجزء الثالث من فيلم المهلك (*) حيث يلعب أرنولد شوارزنيغر دور روبوت من المستقبل الذي سيطرت فيه الآلات القاتلة. ويقود البشـر القلائل المتبقين، المطارديـن كالحيوانات من جانب هذه الآلات، قائد عظيم لم تسـتطع الآلات قتله. ومن شدة يأسها، ترسل الآلات سلسـلة من الروبوتـات القاتلة إلى الماضي، قبـل أن يولد الزعيم العظيم، لقتل والدته. ولكن بعد معارك بطولية، تحطم الحضارة الإنسانية في نهاية الفيلم كما كان مقدرا لها.

اختبر فيلم «العودة للمسـتقبل» (**) الاحتمال الثالث. اخترع الدكتور براون سـيارة ديلورين مدفوعة بالبلوتونيوم، وهي في الحقيقة آلة زمان للسـفر إلى الماضـي. يدخل مايكل جي فوكس (مارتـي ماكفلاي) الآلة ويعـود في الزمـان إلى الوراء ليلتقي بأمه المراهقـة، التي تقع في حبه. ويقدم هذا مشـكلة عويصة. لو أن أم مارتـي ماكفلاي المراهقة رفضت أباه في المستقبل، فإنهما لن يتزوجا أبدا، ولم تكن شخصية مايكل فوكس لتولد أبدا.

وضح دوك براون المشـكلة قليلا. يعود براون إلى السـبورة ويرسم خطـا أفقيا يمثل خط الزمن لكوننا. ثم يرسـم خطـا ثانيا يتفرع عن الخـط الأول ممثلا كونـا موازيا يفتح عندما تغيـر الماضي. لذا فكلما عدنا إلى نهر الزمان يتشـعب النهر إلـى نهرين، ويصبح الخط الزمني خطين زمنيين، أو ما دعي بمقاربة «العوالم المتعددة»، التي سنناقشـها في الفصل التالي.

(*) Terminator 3.
(**) Back to the Future.

يعني هذا أن من الممكن حل مشاكل السفر عبر الزمان كلها. لو كنت قتلت أبويك قبل أن تولد، فهذا يعني ببساطة أنك قتلت بعض الناس المماثلين جينيا لأبويك، بالذكريات والشخصيات نفسها، لكنهما ليسا أبويك الحقيقيين.

تحل فكرة «العوالم المتعددة» مشكلة رئيسة واحدة على الأقل للسفر عبر الزمان. بالنسبة إلى عالم الفيزياء فإن النقد الرئيس للسفر عبر الزمان (إضافة إلى العثور على الطاقة السالبة) هو أن تأثيرات الإشعاع ستتراكم إلى أن تقتل في اللحظة التي تدخل فيها الآلة، أو سينهار الثقب الدودي فوقك. تتراكم تأثيرات الإشعاع لأن أي إشعاع يدخل بوابة الزمان سيرد إلى الماضي ليتجول حول الكون حتى يصل في النهاية إلى اليوم الحالي، ثم سيسقط في الثقب الدودي مرة أخرى. وبما أن الإشعاع يمكنه أن يدخل فوهة الثقب الدودي عددا لا نهائيا من المرات، يمكن للإشعاع داخل الثقب الدودي أن يصبح قويا بما يكفي ليقتلك. لكن تفسير «العوالم العديدة» يحل هذه المشكلة. لو ذهب الإشعاع إلى آلة الزمن، وأرسل إلى الماضي، فإنه سيدخل بعدها كونا جديدا ولا يمكنه الدخول إلى آلة الزمان مرة بعد مرة بعد مرة. ويعني هذا ببساطة أن هناك عددا لا متناهيا من الأكوان، بمعدل كون واحد لكل دورة، وتحتوي كل دورة فوتونا واحدا من الإشعاع فقط وليس كمية لامتناهية من الإشعاع.

اتضح النقاش قليلا عام 1997، عندما برهن ثلاثة فيزيائيين على أن برنامج هوكنغ لحظر السفر عبر الزمان معيب في جوهره. أظهر برنارد راي ومارك رادزيكوفسكي وروبرت وولد أن السفر عبر الزمان، يتسق مع قوانين الفيزياء كلها عدا مكانا واحدا. عند السفر عبر الزمان تتركز المشاكل المحتملة كلها عند أفق الحدث (الموجود بالقرب من مدخل الثقب الدودي). لكن الأفق هو بالضبط المكان الذي نتوقع أن تنهار فيه نظرية آينشتاين وتسيطر عليه التأثيرات الكمومية. والمشكلة هي أنه كلما حاولنا حساب تأثيرات الإشعاع ونحن ندخل آلة الزمان، علينا أن نستخدم نظرية تجمع نظرية آينشتاين في النسبية العامة مع نظرية الكوانتم في الإشعاع. ولكن كلما حاولنا بسذاجة أن نزاوج بين هاتين النظريتين، تكون النظرية الناتجة غير معقولة: إنها تعطي أجوبة لامتناهية من دون معنى.

وهنا تسيطر نظرية كل شـــيء(*). فكل مشاكل السفر عبر ثقب دودي التي حيرت الفيزيائيين (مثل اســـتقرارية الثقب الدودي) والإشـــعاع الذي يمكنه أن يقتلك، وإغلاق الثقب الدودي عند دخولك إليه) مركزة عند أفق الحدث، وهو المكان الذي تصبح عنده نظرية آينشتاين بلا معنى.

لذا فالمفتاح لفهم الســـفر عبر الزمان هو فهم فيزياء أفق الحدث، ولا يمكن لنظرية سوى نظرية كل شيء أن تفسر ذلك. وهذا هو السبب في أن معظم الفيزيائيين اليوم يتفقون على أن إحدى الطرق للإجابة عن ســـؤال السفر عبر الزمان بشكل مؤكد هي تقديم نظرية كاملة للجاذبية والزمكان.

ســـتوحد نظرية كل شيء القوى الأربعة للكون، وستمكننا من حساب ما الذي ســـيحدث عندما ندخل آلة زمان. ويمكن لنظرية كل شـــيء فقط أن تحســـب بنجاح كلها تأثيرات الإشعاع التي يخلقها الثقب الدودي، وتحسم الســـؤال عن مدى استقرار الثقب الدودي عندما ندخل آلة الزمان. وحتى في ذلـــك الوقت ربما يجب علينا أن ننتظر لقـــرون، أو حتى لفترة أطول، لبناء آلة تختبر هذه النظريات بالفعل.

ولأن قوانين الســـفر عبـــر الزمن مرتبطة بشـــكل وثيق بفيزيـــاء الثقوب الدودية، يصنف السفر عبر الزمان على أنه استحالة من الصنف الثاني.



(*) Theory of Everything (TOE). هي نظرية وهمية في الفيزياء النظرية تشرع وتصل بين الظواهر الفيزيائية، وتتوقع النتائج لأي تجربة قابلة للتطبيق، من حيث المبدأ [المحررة].

13

الأكوان المتوازية

قال بيتر: «ولكن هل تعني يا سيدي أن من الممكن أن تكون هناك عوالم أخرى - تنتشر في كل مكان، وعلى القرب منا - وهكذا؟»
أجاب البروفسور «لا شيء أكثر احتمالا من ذلك»... بينما تمتم لنفسه «أتساءل ما الذي يعلّمونهم في المدارس».

سي. اس لويس - الأسد، الساحرة وخزانة الملابس

«اسمع: هناك كون رائع في جوارنا، دعنا نذهب إليه».

اي. اي. كمينغس

«على الرغم من أن نظرية الكوانتم هي أنجح نظرية اقترحت من العقل البشري، إلا أنها مبنية على رمال من المصادفة والحظ والاحتمالات»

المؤلف

هل الأكوان البديلة ممكنة حقا؟ إنها موضوع محبب لكتاب أفلام هوليوود، كما في حلقة مسلسل ستار ترك بعنوان «المرآة، المرآة». ينقل القبطان كيرك بالمصادفة إلى كون مواز غريب، حيث توجد امبراطورية

شـــريرة تدعى تحالف الكواكب تحكم بالجشع والاحتلال العنيف والنهب. في ذاك الكون، يطلق ســبوك لحية شريرة، ويتزعم القبطان كيرك عصابة من القراصنة الأشرار الذين يتقدمون باستعباد منافسيهم وقتل رؤسائهم.

تمكننــا الأكوان البديلة من استكشـــاف عالم «مـــاذا لو» واحتمالاته المتعــة والمثيرة. في قصص ســوبرمان المصورة على ســبيل المثال كان هناك عدة أكــوان بديلة حيث لا ينفجر كوكب ســوبرمان الأم كريبتون أبدا، أو يظهر سوبرمان في النهاية شخصيته الحقيقية على أنه كلارك كينــت ذو الطبيعــة الطيبة، أو أنـــه يتزوج لويس لـــين وينجبان أطفالا فائقين. ولكن هل الأكوان المتوازية مجرد تكرار لمنطقة الغبش، أم أن لها أساسا في الفيزياء الحديثة؟

اعتقـــد الناس خــلال التاريـــخ الذي يعــود إلى المجتمعـــات القديمة بمســتويات أخرى من الوجود، كمنازل الآلهة أو الأشـــباح. وتؤمن الكنيسة المســيحية بالجنة والنـــار وأمكنة التطهير. وفي البوذيـــة، هناك النيرفانا وحالات مختلفة من الوعي. ولدى الهندوس آلاف المستويات من الوجود.

خمّـــن اللاهوتيون المســـيحيون، الذين جهدوا لتبيـــان مكان الجنة، أن اللـــه ربما يعيش في مســـتو ذي أبعاد أعلى. ومن المدهـــش أنه لو وجدت الأبعاد الأعلى فقد تصبح كثير من الخصائص الممنوحة للآلهة ممكنة. قد يستطيع الكائن الذي يعيش في أبعاد أعلى أن يختفي ويظهر كما يشاء، أو يمشي خلال جدران - طاقات تعزى عادة للالهة.

أصبحت فكرة الأكوان المتوازية أخيرا أحد أكثر المواضيع إثارة للنقاش فـــي الفيزياء النظرية. هناك في الحقيقـــة أنواع عدة من الأكوان المتوازية تجبرنا على إعادة النظر فيما نعنيه بـ «حقيقي». إن موضوع النقاش حول أكوان متوازية مختلفة ليس أقل من النقاش حول معنى الحقيقة نفسها.

هنـــاك على الأقل ثلاثة أنواع من الأكوان المتوازية التي نوقشـــت بكثرة في المراجع العلمية:

1 - فضاء تشعبي متعدد الأبعاد (hyperspace)، أو بأبعاد أعلى.

2 - متعدد الأكوان (multiverse).

3 - أكوان كمومية متوازية.

فضاء تشعبي متعدد الأبعاد

الكون المــوازي الذي كان تاريخيا موضع أطول نقــاش هو الكون بأبعاد أعلــى. إننا نعيش حقيقة في كون بثلاثة أبعاد (طول وعرض وارتفاع)، وهي حقيقة يقبلها الحس السليم. ومهما حركنا جسما في الفضاء يمكننا وصف أماكنه كلها بهذه الأبعاد الثلاثة. وفي الحقيقة، نستطيع بهذه الأبعاد الثلاثة تحديد مكان أي جسم في الكون من قمة أنوفنا إلى أقصى المجرات البعيدة.

يبدو أن إضافة بعد رابع للمكان يخترق الحس السليم. لو سمح للدخان، على ســبيل المثال أن يملا غرفة ما، فإننـــا لا نرى الدخان يختفي في بعد آخــر. لا نرى في أي مكان في كوننا أجســاما تختفي فجأة وتتجرف إلى كون آخــر. وهذا يعني أن أي أبْعاد أعلى، إذا كانت موجودة على الإطلاق، لا بد أن تكون أصغر من ذرة.

تمثــل أبعاد المكان الثلاثة الأســاس الرئيس للهندســة اليونانية. على ســبيل المثال، كتب أرســطو في مقالته «عن الســماوات»: «للخط مقدار باتجاه واحد، وللمستوي باتجاهين، وللصلب بثلاثة اتجاهات وما بعد هذا ليس هناك مقدار آخر لأن الثلاثة هي كل شيء». وفي عام 150 ق.م قدم بطليموس من الاسكندرية «البرهان» الأول على أن الأبعاد الأعلى من ذلك «مستحيلة». وفي مقالته «عن المسافة» جادل بما يلي: ارسم ثلاثة خطوط متعامدة بشــكل متداخل مع بعضها بعضا (كالخطوط التي تشــكل زاوية غرفة). وكما قال، فمن الواضح أنه لا يمكن رســم خط عمودي على هذه الخطــوط الثلاثــة، وبالتالي فالبعد الرابع مســتحيل. (ما برهن عليه في الحقيقــة هــو أن عقولنا غير قادرة على تصور بعد رابع. لكن الحاســوب الشخصي على طاولتك يحسب المكان متعدد الأبعاد في كل وقت).

ولألفي عام، تعرض أي رياضي تجرأ على التكلم عن بعد رابع للسخرية. وفي عام 1685 تكلم الرياضي جون واليس ضد البعد الرابع داعيا إياه «إنه وحش بطبيعته، وأقل احتمالا من الخيال أو السينتوار (الإنسان الوحش)». وفي القرن التاســع عشر اســتنتج كارل غوس، «أمير الرياضيين»، معظم رياضيات البعد الرابع، إلا أنه كان خائفا من نشــرها بســبب ردود الفعل التي قد تثيرها. لكن بشــكل خاص أجــرى غوس تجارب لاختبار فيما إذا

كانت الهندسة اليونانية ذات الأبعاد الثلاثة تصف الكون حقا. وفي إحدى التجارب وضع مساعديه على قمم ثلاثة جبال. وحمل كل منهم مصباحا، مشكلين بذلك مثلثا ضخما. قاس غوس بعد ذلك كل زاوية من المثلث. ولخيبة أمله، وجد أن مجموع الزوايا الداخلية 180 درجة. استنتج أنه لو كانت هناك انحرفات عن الهندسة اليونانية القياسية فلا بد أنها صغيرة جدا بحيث لا يمكن اكتشافها بمصابيحه.

ترك غوس المسألة لطالبه جورج برنارد ريمان ليكتب أسس رياضيات الأبعاد الأعلى (والتي استوردت بالجملة بعد قرون في نظرية النسبية العامة لآينشتاين). وباجتياح قوي في محاضرة شهيرة قدمها ريمان عام 1854، ألغى ألفي عام من الهندسة اليونانية، ووضع أسس الرياضيات للأبعاد الأعلى المحنية التي نستخدمها اليوم.

بعد ذيوع اكتشاف ريمان الشهير في أوروبا في أواخر القرن التاسع عشر، أصبح «البعد الرابع» مصدر إلهام الفنانين والموسيقيين والكتاب والفلاسفة والرسامين. تأثرت تكعيبية بيكاسو، على سبيل المثال، بالبعد الرابع بحسب مؤرخة الفن ليندا دالريمبل هندرسون (كان رسم بيكاسو لنساء بعيون تتجه للأمام وأنف إلى الجانب محاولة لتصور منظور بعد رابع، لأن شخصا ينظر للأسفل من البعد الرابع يمكنه رؤية وجه امرأة وأنفها ومؤخرة رأسها في الوقت نفسه). وتكتب هندرسون: «مثل ثقب أسود[1]، امتلك» البعد الرابع «مواصفات سرية لا يمكن فهمها بشكل كامل حتى من قبل العلماء أنفسهم. مع ذلك كان تأثير» البعد الرابع «بعد عام 1919 أكثر معقولية بكثير من الثقوب السوداء، أو أي فرضية علمية أخرى أحدث منه، عدا النسبية العامة».

استغل رسامون آخرون البعد الرابع أيضا. في لوحة سلفادر دالي «كريستس هايبركوبيوس» يصلب المسيح على صليب غريب عائم بثلاثة أبعاد، والذي هو في الحقيقة «تسراكت» (tesseract)، مكعب فائق بأربعة أبعاد. وفي لوحته الشهيرة «بقاء الذاكرة» حاول تمثيل الزمان على أنه البعد الرابع، وبالتالي استعارة الساعات المنصهرة. وكانت لوحة «عارية تهبط الدرج» لمارسيل دوشامب محاولة لتمثيل الزمان على أنه البعد الرابع

بالتقاط الحركة لعارية تهبط درجا. ويظهر البعد الرابع حتى في قصة لأوسكار وايلد، «شبح كانترفيل»، حيث يعيش شبح يهيمن على منزل في البعد لرابع.

ويظهر البعد الرابع أيضا في عدد من أعمال إتش. جي. ويلز بما في ذلك رواية «الرجل الخفي» و«قصة المخطط» و«الزيارة الرائعة» (في الرواية الأخيرة التي أصبحت منذ ذلك الوقت اساسا لعدد من أفلام هوليوود وقصص الخيال العلمي، يصطدم كوننا بطريقة ما بكون مواز. يسقط ملاك فقير من كونٍ آخر إلى كوننا بعد أن يطلق صياد عليه النار صدفة. ونتيجة لهلعه الشديد من الجشع والتفاهة والأنانية المتفشية في كوننا، فإنه ينتحر في النهاية).

استكشفت فكرة الأكوان المتوازية أيضا من قبل روبرت هاينلاين في «رقم الوحش»(*). يتخيل هاينلاين مجموعة من أربعة أشخاص شجعان يتجولون عبر الأكوان المتوازية في سيارة رياضية لبروفسور مجنون.

في المسلسل التلفزيوني «المتزحلقون»(**)، يقرأ صبي صغير كتابا ويستلهم منه بناء آلة تسمح له بـ «التزحلق» بين أكوان متوازية. (كان الكتاب الذي يقرأه الصبي في الحقيقة كتابا لي بعنوان الكون التشعبي متعدد الأبعاد Hyperspace).

لكن البعد الرابع اعتبر تاريخيا مجرد فضول من قبل الفيزيائيين. ولم يعثر على أي دليل إلى الآن حول الأبعاد الأعلى. إلا أن هذا بدأ يتغير عام 1919، عندما كتب الفيزيائي ثيودور كالوزا ورقة ثار حولها جدل كبير ألمحت إلى وجود أبعاد أعلى. بدأ ثيودور بنظرية آينشتاين في النسبية العامة، لكنه وضعها في خمسة أبعاد (بعد للزمان، وأربعة أبعاد للمكان؛ وبما أن الزمان هو البعد الرابع للزمكان يشير الفيزيائيون الآن إلى البعد المكاني الرابع على أنه البعد الخامس). لو جعل البعد الخامس أصغر فأصغر، فستنقسم المعادلات سحريا إلى شطرين. يصف الشطر الأول نظرية آينشتاين العادية في النسبية، لكن الشطر الثاني يصبح نظرية ماكسويل في الضوء!

(*) The Number of the Beast.

(**) Sliders.

كان هذا اكتشافا مذهلا. ربما يقع سر الضوء في البعد الخامس! صدم آينشتاين نفسه بهذا الحل، الذي بدا وكأنه يقدم توحيدا أنيقا للضوء والجاذبية. (اهتز آينشتاين جدا باقتراح كازولا بحيث إنه فكر فيه لسنتين قبل أن يوافق على نشر هذه الورقة). كتب آينشتاين لكازولا: «لم يخطر ببالي أبدا فكرة تحقيق (نظرية موحدة) بواسطة أسطوانة بخمسة أبعاد... بالنظرة الأولى، أحب فكرتك جدا [2]... إن الوحدة الرسمية لنظريتك مذهلة».

لسنوات سأل الفيزيائيون السؤال التالي: لو كان الضوء موجة، فما الذي يتموّج؟ يمكن للضوء أن يمر عبر مليارات السنين الضوئية من الفضاء الفارغ، لكن الفضاء الفارغ عبارة عن فراغ خال من أي مادة. لذا، ما الذي يتموج في الفراغ؟ بحسب نظرية كازولا لدينا اقتراح متماسك للجواب عن هذا السؤال: الضوء عبارة عن تموجات بالبعد الخامس. وتظهر علاقات ماكسويل التي تصف خصائص الضوء كلها كأمواج تسير في البعد الخامس.

تصور سمكا يسبح في بركة ضحلة. ربما لن تشك هذه الأسماك بوجود بعد ثالث، لأن عيونها على الجانبين وتستطيع السباحة للأمام والخلف واليسار واليمين فقط. وقد يبدو البعد الثالث بالنسبة لها مستحيلا. لكن تصور بعد ذلك السماء تمطر على البركة. وعلى الرغم من أن الأسماك لا تستطيع رؤية البعد الثالث، إلا أنها تستطيع رؤية التجعدات على سطح البركة بوضوح. وبالطريقة نفسها شرحت نظرية كازولا الضوء على أنه تجعدات تسافر بالبعد الخامس.

أعطى كازولا أيضا جوابا حول وجود البعد الخامس. وبما أننا لا نرى دليلا على وجود بعد خامس فلا بد أنه «تجعد» إلى حجم صغير جدا لا يمكن ملاحظته. (تصور أخذ صفيحتين من الورق ببعدين ولفهما بإحكام ليشكلا أسطوانة. تبدو الأسطوانة من مسافة كخط ببعد واحد. وبهذه الطريقة تحول جسم ببعدين إلى جسم ببعد واحد عن طريق حنيه).

خلقت نشرة كازولا في البداية إثارة كبيرة. لكن أثيرت في السنوات التالية اعتراضات عليها. ما حجم هذا البعد الخامس الجديد؟ كيف تجعد؟ لم تكن هناك إجابات.

ولعقود عمل آينشـــتاين على هذه النظريـــة على فترات متقطعة. وبعد أن توفي، عام 1955، نسيت النظرية بسرعة وأصبحت مجرد حاشية في تطور علم الفيزياء.

نظرية الأوتار الفائقة

تغير هـــذا كله بمجيء نظرية جديدة مدهشـــة دعيـــت نظرية الأوتار الفائقة. بحلول الثمانينيات غرق الفيزيائيون في بحر من الجسيمات تحت الذريـــة. ففي كل مرة حطمتْ فيها ذرة بمســـرع جســـيمات قوي، وجدت مجموعة من الجســـيمات الجديدة تخرج منهـــا. كان الوضع مزعجا جدا بحيث أعلن روبرت أوبنهايمر أن جائزة نوبل في الفيزياء ستمنح للفيزيائي الذي لم يكتشف جسيما جديدا في ذلك العام! (قال انريكو فيرمي، الذي انزعج بانتشـــار الجســـيمات تحت الذرية [3] ذات الأســـماء اليونانية «لو استطعت تذكر أســـماء هذه الجسيمات كلها، لأصبحت عالم نبات») وبعد عقود من العمل الشاق، أمكن ترتيب هذه التشكيلة العجيبة من الجسيمات في شيء دعي النموذج القياسي (The Standard Model). ذهبت مليارات الدولارات وعرق آلاف المهندســـين والفيزيائيين وعشـــرون جائزة نوبل في تجميع النموذج القياســـي بجهد قطعة فقطعـــة. إنها بالفعل نظرية رائعة، يبدو أنها تناســـب البيانات التجريبية التي تخص فيزياء الجسيمات تحت الذرية جميعها.

لكن النموذج القياســـي، على الرغم من نجاحاته التجريبية كلها عانى مـــن عيب خطير. وكما يقول ســـتيفن هوكنغ: «إنه بشـــع واعتباطي». فهو يحتوي على الأقل على تســـعة عشر متحولا (بما في ذلك كتل الجسيمات وقوة تفاعلاتها مع الجســـيمات الأخرى)، ســـتة وثلاثين كـــواركا ومضادا للكوارك، وثلاث نســـخ مضبوطة وعاطلة من جسيمات فرعية، ومجموعة من جسيمات تحت ذرية بأسماء غريبة مثل تاو نيوترينو، وغلوان يانغ ميلز، وبوزونات هيغز، وبوزونات W، وجسيمات Z. والأسوأ من ذلك أن النموذج القياســـي لا يذكر الجاذبية. ويبدو مـــن الصعب الاعتقاد أن الطبيعة على المســـتوى الأساسي يمكن أن تكون عشـــوائية وغير أنيقة بهذا الشكل. هنا

نظريــة يمكن لأم فقط أن تحبها. لقد أجبر عدم أناقة النموذج القياســي الفيزيائيــين علــى إعادة تحليل افتراضاتهم كلها حــول الطبيعة. لا بد أن هناك شيئا خاطئا جدا.

لــو حلل المرء القرون القليلة الماضية في الفيزياء فســيجد أن أحد أهم اكتشــافات القرن الماضي هو تلخيص الفيزياء الأساســية كلها في نظريتين رئيســتين: نظرية الكوانتم (مثلت بالنموذج القياسي) ونظرية آينشــتاين في النســبية (التي تصــف الجاذبية). ومــن الملاحظ أنهما كلاهما يمثــلان مجموع المعرفة الفيزيائية على المســتوى الأساســي. تصف النظرية الأولى العالم الميكروي الكمومي تحت الذري، حيث تقوم الجســيمات برقصات رائعة لتخرج من الوجــود وتعود إليه وتظهر في مكانين في الوقت نفســه. وتصف النظرية الثانيــة العالم الكبير جدا، مثل الثقوب الســوداء والانفجار الكبير، وتستخدم لغة السطوح الناعمة والنســيج الممدد والسطوح المحنية. هاتان النظريتان متناقضتان في كل خاصة، وتســتخدمان رياضيات مختلفة وافتراضــات مختلفة وصورا فيزيائية مختلفة. ويبــدو كما لو أن للطبيعة يدين لا تتواصل أي منهما مــع الأخرى. والأكثر من ذلك، فــإن أي محاولة لدمج هاتين النظريتين قــادت إلى أجوبــة لا معنى لها. ولنصف قرن وجــد أي فيزيائي حاول التوسط في إجراء زواج بين نظرية الكوانتم والنسبية العامة أن النظرية تنفجر في وجهه وتنتج عددا لامتناهيا من الأجوبة لا معنى لها.

تغير هذا كله مع اكتشاف نظرية الأوتار الفائقة التي تزعم أن الإلكترون والجســيمات تحت الذرية الأخرى ليســت أكثر من اهتزازات متباينة لوتر يعمل مثل أربطة مطاطية صغيرة. لو ضربت الحزمة المطاطية فإنها ستهتز بأشكال متباينة، بحيث يتعلق كل اهتزاز بجسيم تحت ذري مختلف. وبهذه الطريقة تفســر نظرية الأوتار الفائقة مئات الجسيمات تحت الذرية التي اكتشفت حتى الآن في مســرعات الجسيمات لدينا. وفي الحقيقة، تظهر نظرية آينشتاين كواحدة من الاهتزازات الأدنى للوتر الفائق.

رحبت الأوســاط العلمية بنظرية الأوتار الفائقــة على أنها «نظرية كل شــيء»، وهي النظرية الأســطورة التي تمنّعت على آينشتاين خلال

الثلاثين عاما الأخيرة من حياته. أراد آينشتاين نظرية واحدة شاملة تلخص القوانين الفيزيائية جميعها وتسمح له بـ«قراءة عقل الإله». لو نجحت نظرية الأوتار الفائقة في توحيد الجاذبية مع نظرية الكوانتم، فقد تمثل الإنجاز المتوّج للعلم منذ ألفي عام، حين تساءل اليونان عن ماهية المادة.

لكن الخاصة الغريبة لنظرية الأوتار الفائقة هي أنها تهتز في بعد محدد من الزمكان؛ يمكنها أن تهتز في عشرة ابعاد فقط. ولو حاول المرء خلق نظرية أوتار فائقة في أبعاد أخرى، فإنها ستتهار رياضيا.

إن كوننا، بالطبع، موجود بأبعاد أربعة (ثلاثة للمكان وبعد رابع للزمان). وهذا يعني أن الأبعاد الستة الأخرى لابد أنها انهارت بطريقة ما، أو انها انحنت مثل بعد كالوزا الخامس.

اهتم العلماء أخيرا بتقديم براهين على وجود هذه الأبعاد الأعلى أو على عدم وجودها. ربما كانت الطريقة الأبسط للبرهان على وجود أبعاد أعلى هي إيجاد انحرافات عن قانون نيوتن في الجاذبية. نتعلم في المدرسة الثانوية أن جاذبية الأرض تتناقص مع سفرنا إلى الفضاء الخارجي. وبشكل أدق، تتناقص الجاذبية مع مربع المسافة الفاصلة. لكن هذا يتم لأننا نعيش في عالم ثلاثي الأبعاد. (فكّر في كرة تحيط بالأرض. تنتشر جاذبية الأرض بشكل متساو على سطح الكرة، بحيث كلما كانت الكرة أكبر ضعفت الجاذبية. لكن بما أن سطح الكرة يزداد طردا مع مربع القطر، فإن قوة الجاذبية المنتشرة على سطح الكرة تتناقص طردا مع مربع القطر).

لكن لو كان للكون أربعة أبعاد مكانية، فسوف تتناقص الجاذبية مع مكعب المسافة الفاصلة. لو كان للكون بعد فضائي (ن) فيجب أن تتناقص الجاذبية مع القوة (ن – 1). اختبر قانون التربيع العكسي الشهير لنيوتن بدقة كبيرة بالنسبة للمسافات الفلكية، وهذا هو السبب في أن بإمكاننا إرسال مسابر فضائية تمر بالقرب من حلقات زحل بدقة هائلة. لكن حتى وقت قريب لم يختبر قانون التربيع العكسي لنيوتن على مسافات صغيرة في المختبر.

أجريت التجربة الأولى لاختبار قانون التربيع العكسي بالنسبة لمسافات صغيرة في جامعة كولورادو عام 2005 بنتائج سلبية. ومن الواضح أنه لا يوجد كون مواز، وعلى الأقل ليس في كولورادو. لكن هذه النتيجة السلبية أذكت شهية الفيزيائيين الآخرين الذين أملوا في إعادة هذه الاختبارات بدقة أكبر.

والأكثر من ذلك، أن مصادم هادرون الكبير (LHC)، الذي سيعمل عام 2008 خارج جنيف، في سويسرا سيبحث عن نوع جديد من الجسيمات يدعى «جسيم س s particle» أو الجسيم الفائق(*)، والذي يعتبر اهتزازا أعلى للوتر الفائق (كل ما تراه حولك هو اهتزاز أدنى للوتر الفائق). ولو عثر هذا الجهاز على جسيمات فائقة فسيحدث ثورة في الطريقة التي نرى بها الكون. وببساطة، يمثل النموذج القياسي في صورة الكون هذه أدنى اهتزاز للوتر الفائق.

يقول ريب ثورن: «سيدرك الفيزيائيون بحلول عام 2020 قوانين جاذبية الكوانتم، والتي ستكون نسخة مختلفة عن نظرية الأوتار الفائقة». وإضافة إلى الأبعاد الأعلى، هناك كون مواز آخر تتنبأ به نظرية الأوتار الفائقة وهو «متعدد الأكوان» (Multiverse).

متعدد الأكوان

لايزال هناك سؤال ملح حول نظرية الأوتار الفائقة: لماذا توجد خمس نسخ مختلفة من نظرية الأوتار الفائقة؟ يمكن لنظرية الأوتار الفائقة أن توحّد بنجاح نظرية الكوانتم مع الجاذبية، لكن هناك خمس طرق لإجراء ذلك. كان هذا مربكا بعض الشيء لأن معظم الفيزيائيين أرادوا «نظرية كل شيء» وحيدة. أراد آينشتاين، على سبيل المثال، أن يعرف إذا «كان لله أي خيار في خلق الكون». وكان يعتقد أن على نظرية الحقل الموحدة لكل شيء أن تكون فريدة من نوعها. إذن، لماذا هناك خمس نظريات للأوتار الفائقة؟

(*) بدأ تشغيل المصادم (LHC) بالفعل في 10 سبتمبر 2008، ثم توقف بعد تسعة أيام فقط لأسباب تقنية، ليعاد تشغيله بعد 14 شهرا، في 20 نوفمبر 2009. وفي الرابع من يوليو 2012، أعلن مختبر سيرن عن رصد جسيم أولي يعتقد أنه الجسيم الفائق (بوزون هيغز). وتستمر الدراسات حتى يومنا هذا للتحقق من صحة هذا الاعتقاد [المحررة].

في عام 1994 سقطت قذيفة أخرى. خمّن إدوارد ويتين من معهد برنستون للدراسات المتقدمة وبول تاونسند من جامعة كامبردج أن نظريات الأوتار الخمسة كلها هي في الحقيقة النظرية نفسها - لكن فقط لو أضفنا البعد الحادي عشر. ومن زاوية الأفضلية للبعد الحادي عشر، تنهار النظريات الخمس المختلفة جميعها إلى نظرية واحدة! كانت النظرية فريدة بعد كل ذلك لكن فقط لو صعدنا إلى أعلى قمة البعد الحادي عشر.

يمهد البعد الحادي عشر لوجود جسم رياضي جديد يدعى الغشاء (membrane) (سطح كرة على سبيل المثال). وهنا كانت الملاحظة المذهلة: لو هبط المرء من أحد عشر بعدا إلى عشرة أبعاد، فسوف تظهر نظريات الأوتار الفائقة الخمس جميعها بدءا من غشاء واحد. وبالتالي، فنظريات الأوتار الفائقة الخمسة جميعها مجرد طرق مختلفة لتحريك الغشاء للأسفل من البعد 11 إلى البعد 10.

(لتخيل ذلك، تصور كرة شاطئ برباط مطاطي ممدود حول منتصفها. تصور أخذ زوج من المقصات وقص كرة الشاطئ مرتين: مرة أعلى الرباط المطاطي ومرة تحته، وبالتالي تقطع أعلى كرة الشاطئ واسفلها. كل ما يتبقى هو الرباط المطاطي وهو عبارة عن الوتر. وبالطريقة نفسها لو لففنا البعد الحادي عشر فكل ما يتبقى من الغشاء هو خط منتصفه، وهو أيضا وتر. في الحقيقة توجد رياضيا خمس طرق يمكن لهذا القطع أن يحدث فيها مخلفّة لنا خمس نظريات أوتار فائقة مختلفة في عشرة أبعاد).

أعطانا البعد الحادي عشر صورة جديدة. لقد عنى أيضا أن الكون نفسه ربما كان غشاء يعوم في زمكان مكوّن من أحد عشر بعدا. وأكثر من ذلك لا يتعين أن تكون هذه الأبعاد كلها صغيرة، في الحقيقة قد يكون بعض هذه الأبعاد لامتناهيا.

ويثير هذا الاحتمال بأن كوننا يوجد كمتعدد أكوان لأكوان أخرى. فكّر في مجموعة واسعة من فقاعات صابون عائمة أو أغشية. تمثّل كل فقاعة صابون كونا كاملا يعوم في حقل أكبر من فضاء بأحد عشر بعدا. يمكن لهذه الفقاعات أن تتصل بفقاعات أخرى، أو تتشطر، وحتى أن تظهر للوجود ثم تختفي. وقد نعيش على قشرة واحدة من الأكوان الفقاعية هذه.

يعتقد ماكس تيغمارك من جامعة MIT أنه خلال خمسين عاما [4] لن يكون وجود هذه «الأكوان المتوازية» أكثر مدعاة للجدل من وجود مجرّات أخرى - دعيت عندها «أكوان جزر - منذ مائة عام».

ما عدد الأكوان التي تتنبأ بها نظرية الأوتار الفائقة؟ إحدى الخصائص المحرجة لنظرية الأوتار الفائقة هي أنه قد يكون هناك بحسب أحد التقديرات غوغول من مثل هذه الأكوان. (الغوغول هو 1 يتبعه 100 صفر).

وعادة يكون التواصل بين هذه الأكوان مستحيلا. إن ذرات أجسامنا مثل ذباب حشر في ورقة صيد الذباب. نستطيع التحرك بحرية في الأبعاد الثلاثة على طول كوننا الغشائي، لكن لا يمكننا القفز من الكون إلى كون متعدد الأبعاد لأننا ملتصقون بكوننا. لكن يمكن للجاذبية التي هي لف للزمكان أن تعوم إلى الفضاء بين الأكوان.

هناك في الحقيقة نظرية واحدة تقول بأن المادة السوداء، وهي شكل غير مرئي للمادة تحيط بالمجرات، قد تكون مادة عادية تعوم في كون مواز. وكما في رواية إتش. جي. ويلز «الرجل الخفي»، يصبح الشخص غير مرئي بمجرد عومه فوقنا في البعد الرابع. تخيل صفيحتين متوازيتين من الورق حيث يعوم شخص على إحدى الصفيحتين فوق الصفيحة الأخرى مباشرة.

بالطريقة نفسها هناك تخمين بأن المادة السوداء قد تكون مجرة مادة عادية تعوم فوقنا في كون غشائي آخر. ويمكننا تحسس جاذبية هذه المجرة لأن بإمكانها أن تنفذ إلى بين المجرتين. لكن المجرة الأخرى ستكون غير مرئية لنا، لأن الضوء يتحرك تحت المجرة. وبهذه الطريقة ستكون للمجرة جاذبية لكنها ستكون مخفية، وهذا ينطبق على وصف المادة السوداء. (وهناك احتمال آخر أيضا هو أن المادة السوداء قد تتألف من الاهتزاز التالي للوتر الفائق. كل ما نراه حولنا مثل الذرات والضوء ليست أكثر من الاهتزاز الأدنى للوتر الفائق. وقد تشكل المادة السوداء المجموعة الأعلى التالية من هذه الاهتزازات).

وللتأكد، فربما تكون معظم الأكوان المتوازية هذه أكوانا ميتة تتألف من غاز لا شكل له من الجسيمات تحت الذرية، مثل الإلكترونات والنيوترينوات.

وقد يكون البروتون في هذه الأكوان غير مستقر بحيث تتخافت المادة كلها كما نعرفها ببطء وتتحل. ومن المحتمل أن المادة المعقدة المؤلفة من ذرات وجزيئات لن تكون ممكنة في هذه الأكوان.

وقد تكون أكوان موازية أخرى على العكس تماما، حيث توجد أشكال معقدة من المادة أبعد من أي شيء نستطيع تصوره بكثير. وبدلا من نوع واحد فقط من الذرات التي تتألف من بروتونات ونيوترونات وإلكترونات، فربما توجد هناك مجموعة مدهشة من أنواع أخرى من المادة السوداء.

وقد تصطدم هذه الأكوان الغشائية بعضها مع بعض أيضا. ويعتقد بعض الفيزيائيين في برنستون أن كوننا ربما بدأ على شكل غشاءين ضخمين جدا اصطدما أحدهما بالآخر منذ 13.7 مليار سنة، وقد خلقت أمواج الصدم من هذا التصادم الهائل كوننا. ومن الملاحظ أنه عندما اختبرت النتائج التجريبية لهذه الفكرة الغريبة وجد أنها تنطبق على النتائج من القمر الاصطناعي WMAP الذي يدور حول الأرض حاليا. (تدعى هذه النظرية بنظرية «التصادم الكبير») (The Big splat).

كان لنظرية متعدد الأكوان حقيقة واحدة لصالحها. عندما نحلل ثوابت الطبيعة نجد أنها «منغّمة» بدقة لتسمح بوجود الحياة. لو زدنا شدة القوة النووية فستحترق النجوم بسرعة كبيرة، بحيث لا تستطيع أن تعطي الحياة. ولو أنقصنا شدة القوة النووية فلن تشتعل النجوم أبدا، ولا يمكن للحياة أن توجد. ولو زدنا قوة الجاذبية فإن كوننا سيموت بسرعة في انهيار كبير. ولو أنقصنا قوة الجاذبية فسيتمدد كوننا بسرعة إلى جماد كبير. في الحقيقة هناك مجموعة من «الحوادث» تشتمل على ثوابت الطبيعة التي تسمح بالحياة. من الواضح أن كوننا يعيش في «منطقة غولديلوك» بالنسبة لمتحولات عديدة، كلها «منغّمة بدقة» بحيث تسمح بوجود الحياة. ولذا إما أن نصل إلى الاستنتاج بأن هناك إلها من نوع ما اختار كوننا ليكون «الكون الملائم» الذي يسمح بوجود الحياة، أو أن هناك بلايين الأكوان المتوازية معظمها ميت. وكما قال فريمان دايسون: «يبدو أن الكون يعرف أننا قادمون».

كتب السير مارتن ريز من جامعة كامبردج أن هذا التنغيم الدقيق هو في الحقيقة دليل مقنع على متعدد الأكوان. هناك خمسة ثوابت فيزيائية (مثل شدة القوى المختلفة) مضبوطة بدقة بحيث تسمح بوجود الحياة، وهو يعتقد أن هناك أيضا عددا لا نهائيا من الأكوان لا تكون ثوابت الطبيعة فيها متلائمة مع الحياة.

ويدعى هذا بـ «المبدأ الانثروبي (الإنساني)». حيث تنص النسخة الأضعف منه على أن كوننا مضبوط بدقة بحيث يسمح بوجود الحياة (لأننا هنا في المقام الأول لنصرّح بذلك). وتقول النسخة القوية إن وجودنا ربما كان ناتجا ثانويا للتصميم أو الإرادة. ويوافق معظم علماء الكون على النسخة الضعيفة من المبدأ الإنساني، لكن هناك جدلا كبيرا بينهم فيما إذا كان المبدأ الانساني مبدأ جديدا في العلم يمكن أن يقودنا إلى اكتشافات ونتائج جديدة، أو أنه ربما ببساطة مجرد تعبير عن أمر بديهي.

نظرية الكوانتم

إضافة إلى الأبعاد الأعلى والكون المتعدد هناك نوع آخر من الأكوان المتوازية سبّب الصداع لآينشتاين ولايزال يشغل بال الفيزيائيين اليوم. إنه الكون الكمومي الذي تنبأت به نظرية ميكانيكا الكوانتم العادية. ويبدو أن المفارقات ضمن نظرية الكوانتم صعبة جدا بحيث أولع حامل جائزة نوبل ريتشارد فينمان بالقول إنه لا أحد على الإطلاق يمكنه أن يفهم حقا نظرية الكوانتم.

ومن المفارقة أنه على الرغم من أن نظرية الكوانتم هي أنجح نظرية اقترحت من العقل البشري (غالبا ما تكون دقيقة بنسبة واحد إلى عشرة مليارات). إلا أنها مبنية على رمال من المصادفة والحظ والاحتمالات. وعلى النقيض من نظرية نيوتن التي أعطت أجوبة محددة صعبة لحركة الأجسام، لا يمكن لنظرية الكوانتم إلا أن تعطي احتمالات.

إن روائع القرن العشرين، مثل الليزرات والانترنت والحاسبات والتلفاز والهاتف الخليوي والأفران الميكروية وما شابهها، مبنية كلها على رمال الاحتمالات المتحركة لنظرية الكوانتم.

المثـال الأوضح على هذا اللغز هو «قطة شـرودينغر» الشـهيرة (التي صيغت من قبل أحد مؤسسـي نظرية الكوانتم الذي اقترح بشـكل معقد المشـكلة لتحطيم التفسير الاحتمالي). وقف شرودينغر ضد هذا التفسير لنظريته[5] قائلا: «لـو كان على المرء أن يلتزم بهذا القفز الكمومي الملعون فإنني آسف لأنني شاركت بهذه النظرية».

يتلخص لغز شـرودينغر في التالـي: توضع قطة في صندوق مغلق. ويصوّب مسـدس على القطة داخله (ثـم يربط الزناد إلى عداد جايغر موضـوع بالقرب من قطعـة من اليورانيـوم). عندمـا تتخافت ذرات اليورانيوم فإنها تشـغّل عداد جايغر الذي يشغل المسدس ويقتل القطة. يمكن لـذرة اليورانيوم أن تتخافت أو لا. والقطـة إما أن تكون ميتة أو حية. هذا منطق سليم!

لكننا في نظرية الكوانتم لا نعلم بالتأكيد إذا كان اليورانيوم قد تخافت. لذا علينا أن نضيف الاحتمالين: إضافة تابع الموجة لذرة متخافتة مع تابع الموجـة لذرة غير متخافتة. لكن هذا يعني أن علينا من أجل وصف القطة أن نضيـف الحالتين. لذا فالقطـة إما أن تكون ميتـة أو حية. إنها تمثل حاصل جمع قطة ميتة وأخرى حية!

وكما كتب فينمان مرة فإن «ميكانيكا الكوانتم تصف الطبيعة على أنها عبثية من وجهة نظر المنطق السليم. لكنها تتفق تماما مع التجربة. لذا آمل أن تقبل الطبيعة كما هي – عبث»[6].

بالنسبة لآينشتاين وشرودينغر شكّل هذا أمرا فظيعا. اعتقد آينشتاين في «الحقيقة الموضوعية» والمنطق السـليم والنظرة النيوتونية التي توجد فيها الأجسـام بحالات محددة، وليس كمجموع لعدد من الحالات الممكنة. ومع ذلك يقع هذا التفسـير الغريب في لبّ الحضارة الحديثة. ومن دونه تتوقف الإلكترونيات الحديثة (وحتى ذرات جسـمك نفسها) عن الوجود. (في العالم العادي نمزح أحيانا بأنه من المسـتحيل أن تكون المرأة «حاملا قليلا». لكن الوضع في عالم الكوانتم أسوأ. فنحن نوجد بالتزامن كمحصلة لمجموعة حالات الجسـم الممكنة جميعها: (حامل، غير حامل، كهل، امرأة عجوز، مراهقة، امرأة عاملة...إلخ).

هناك طرق عدة لحل هذه المســألة العويصة. اعتقد مؤسســو نظرية الكوانتم بمدرســة كوبنهاغن التي تقول إنــك عندما تفتح الصندوق فإنك تجري قياســا، ويمكنك تقرير إذا كانت القطة حيــة أم ميتة. لقد «انهار» التابع الموجي إلى حالة واحدة فقط وســيطر المنطق الســليم. لقد اختفت الموجات تاركة جســيمات فقط. ويعني هذا أن القطة تدخل الآن في حالة محددة (إما ميتة أو حية)، ولم تعد توصف بتابع موجي.

بالتالــي هناك حاجز غير مرئي يفصل عالــم الذرة العجيب عن عالم البشــر الكبير. بالنسبة للعالم الذري، توصف الأشــياء جميعها بموجات الاحتمــال، حيــث يمكن للذرات أن تكون في عــدة أماكن في الوقت ذاته. كلمــا كانت الموجة في موقع معين أكبر زاد احتمــال العثور على الذرة في هذا الموقع. لكن هذه الموجات انهارت بالنسبة للأجسام الكبيرة، ولذا فهي توجد بحالات محددة، وبالتالي يسيطر المنطق السليم.

(عندمــا كان الزوار يأتون إلى بيت آينشــتاين لزيارته، كان يشــير إلى القمــر ويقول: «هل يوجد القمر لأن فأرا ينظر إليه؟» بمعنى ما فقد تكون إجابة مدرسة كوبنهاغن لهذا السؤال هي نعم).

تتّبع معظم الكتب الدراســية لطلبة الدكتوراه في الفيزياء بتدين عميق مدرسة كوبنهاغن، لكن العديد من الباحثين الفيزيائيين تخلوا عنها. لدينا الآن التقانة النانوية ويمكننا التحكــم بالذرات المنفردة، لذا فالذرات التي تأتي إلى الوجود وتخرج منه يمكن التحكم بها بحرية باســتخدام مجاهرنا النفقية الماســحة. ليس هنــاك «جدار» غر مرئي يفصــل العالم المجهري الصغير عن العالم الماكروي الكبير. هناك استمرار.

لا يوجد في الوقت الحالي اتفاق حول طريقة لحل هذا الإشكال الذي يصل إلى لب الفيزياء الحديثة. في المؤتمرات تتنافس عدة نظريات بشدة بعضهــا مع بعض. أحــد آراء الأقلية هو أنه لا بــد أن هناك «وعي كوني» يجتاح الكون. وتقفز الأجسام إلى الوجود عندما تجرى القياسات، وتجرى القياســات من قبل إنســان واع. وبالتالي لا بد أن هناك وعيا كونيا يجتاح الكون يحدد الحالة التي نكون فيها. حاجج البعض، مثل حامل جائزة نوبل يوجــين فيغنر، بأن هذا يبرهن على وجود اللــه أو وعي كوني من نوع ما.

(كتب فيغنــر: «كان من الممكن صياغة قوانين (نظريــة الكوانتم) بطريقة متســقة تماما من دون الاشــارة إلى الوعي». في الحقيقة، فقد عبر عن اهتمامه بفلسفة فيدانتا الهندوسية، حيث يجتاح الوعي الكون بكامله).

وجهة النظر الأخرى للمشــكلة هــي فكرة «العوالم المتعــددة»[7] التي اقترحها هيو ايفيريت عام 1957، والتي تقول بأن الكون ينقســم ببساطة في المنتصف إلى شطرين، حيث توجد قطة حية في أحد الشطرين وقطة ميتة في الشــطر الآخر. وهذا يعني أن هناك انتشــارا واســعا أو تفرعا للأكــوان المتوازية في كل مرة يجري فيها حادث كمومي. وكل كون يمكن له أن يوجد يوجد. وكلما كان الكون غريبا قل احتمال وجوده، ومع ذلك، فهذه الأكوان توجد. وهذا يعنــي أن هناك كونا موازيا ربح فيه النازيون الحرب العالمية الثانية، أو كونا لم تهزم فيه الأرمادا الاســبانية ويتكلم كل شخص فيه الإســبانية. وبعبــارة أخرى، لا ينهار التابع الموجي أبدا. إنه ببســاطة يستمر في طريقه منشطرا بمرح إلى أكوان لا تحصى.

وكما قــال فيزيائي الـ MIT ألان غوث: «هناك كون لا يزال ألفس حيا فيه، وآل غور رئيســا للولايات المتحدة». ويقــول حامل جائزة نوبل فرانك ويلتسك: «نحن مهووسون[8] بإدراك أن نسخا لامتناهية مختلفة قليلا عنا تعيــش حياتها الموازيــة لنا وفي كل لحظة تخرج نســخ أخرى إلى الوجود وتأخذ أشكالا متعددة بديلة عن مستقبلنا».

تدّعي إحدى وجهات النظر التي تزداد شعبيتها لدى الفيزيائيين، والتي دعيت «إزالــة التجانس decoherence» أن الأكــوان المتوازية جميعها هي احتمــالات، وأن تابعنــا الموجي لم يعد متجانســا معهــا (أي لم يعد يهتز بالتزامــن معها) وبالتالي لــم يعد يتفاعل معها. ويعني هــذا أنك تتواجد داخــل غرفة معيشــتك في الزمن نفســه مــع تابع موجــي لديناصورات وغرباء وقراصنة ووحيدي القرن، وكلهم يعتقدون بقوة أن كونهم هو الكون «الحقيقي»، لكننا لم نعد «متناغمين» معهم.

وبحسب ستيف فاينبرغ، الحائز جائزة نوبل، فإن هذا يشبه ضبط ابرة الراديو على محطة ما داخل غرفتك. أنت تعلم أن غرفتك تعج بإشــارات من عدد من محطات الراديو في البلد والعالم. لكن الراديو التابع لك ينغم

على محطة واحدة فقط. لقد «فك تجانسه» مع المحطات الأخرى جميعها (وباختصار، يلاحظ فاينبرغ أن فكرة «العوالم المتعددة» هي فكرة تعيسة. ماعدا الأفكار الأخرى جميعها).

لذا هل يوجد تابع موجي لاتحاد كوكبي شرير ينهب الكواكب الأضعف ويذبح أعداءه؟ ربما، لكن لو كان الأمر كذلك فقد فككنا تجانسنا مع ذلك الكون.

الأكوان الكمومية

عندما ناقش هيو ايفيرت نظريته «العوالم المتعددة» مع فيزيائيين آخرين، تلقى ردود أفعال لامبالية أو مرتبكة. وقد اعترض الفيزيائي برايس ديويت من جامعة تكساس على النظرية لأنه «لا يشعر بأن نفسه انشطرت». لكن هذا كما قال ايفيرت مماثل للطريقة التي ردّ بها غاليليو على منتقديه الذين قالوا بأنهم لا يشعرون بأن الأرض تتحرك. (في النهاية، انحاز ديويت إلى جانب ايفيرت وأصبح من رواد الداعين للنظرية).

ولعقود توارت نظرية «العوالم المتعددة» في غياهب النسيان. لقد كانت ببساطة أكثر روعة من أن تكون حقيقية. وقد خلص جون ويلر، مشرف ايفيرت في برنستون، في النهاية إلى النتيجة أن هناك الكثير جدا من «المتاع الزائد» الملازم لهذه النظرية. لكن أحد الأسباب لشيوع نظرية ايفيرت فجأة الآن هو أن الفيزيائيين يحاولون تطبيق نظرية الكوانتم على الحقل الأخير الذي قاوم محاولة تكميمه وهو: الكون نفسه. ويؤدي تطبيق مبدأ عدم التأكد على الكون بكامله بشكل طبيعي إلى متعدد الأكوان.

تبدو فكرة «الكونية الكمومية» للوهلة الأولى كتناقض في المصطلح: فنظرية الكوانتم تشير إلى عالم الذرة اللامتناهي في الصغر، بينما تشير الكونية إلى الكون بكامله. لكن فكر في هذا: في لحظة الانفجار الكبير كان الكون أصغر بكثير من إلكترون. ويوافق كل فيزيائي على أن الإلكترونات يجب أن تكمم: أي أن توصف بالعلاقة الموجية الاحتمالية (علاقة ديراك) ويمكن أن توجد في حالات متوازية. وبالتالي إذا كان لا بد من تكميم

الإلكترونـــات وإذا كان الكـــون في زمن ما أصغر مـــن إلكترون، فيجب أن يوجـــد الكون في حـــالات متوازية - وهي نظرية تقود بشـــكل طبيعي إلى اتجاه «العوالم المتعددة».

لكن تفســير نيلز بور الكوبنهاغني يصادف مشاكل عندما يطبق على الكون بأكمله. وعلى الرغم من أن التفســير الكوبنهاغني يدرّس في خطط الدكتوراه الدرسية لميكانيكا الكوانتم في العالم إلا أنه يعتمد على «الملاحظ» الذي يجري ملاحظة وينهي التابع الموجي. إن عملية الملاحظة ضرورية جدا لتعريف العالم الكبير. ولكن كيف يمكن لشـــخص أن يكون «خارج» الكون بينما يلاحظ الكون بأكمله؟ لو كان هناك تابع موجي يصف الكون، كيف يمكن للملاحظ «خارجي» أن ينهي التابع الموجي للكون؟ في الحقيقة، يرى البعض عدم القدرة على ملاحظة الكون من «خارج» الكون على أنه عيب قاتل في التفسير الكوبنهاغني.

فـــي مقاربة «العوالم المتعددة» فإن الحل لهذه المشـــكلة بســـيط: يوجد الكون ببســـاطة في حالات متوازية عديدة تحـــدد كلها بتابع موجي رئيس دعـــي «التابع الموجي للكون». في الكونية الكمومية، بدأ الكون على شـــكل تذبذبـــات كمومية للفراغ، أي كفقاعة صغيرة جـــدا في زبد الزمكان. كان لمعظـــم الأكوان الوليدة في زبـــد الزمكان انفجار كبير ثـــم حصل لها بعد ذلك مباشـــرة انهيار كبير نحو الداخل. وهذا هو ســـبب عـــدم رؤيتنا لها لأنها صغيرة جدا وذات عمر قصير، وهي ترقص أثناء دخولها إلى الفراغ وخروجهـــا منه. وهذا يعني أنه حتى «اللاشـــيء» يغلي مع الأكوان الوليدة التي تدخل إلى الوجود وتخرج منه لكن على مقياس صغير جدا لا يكتشف بأجهزتنا. لكن، ولســـبب ما، لـــم تعد إحدى الفقاعات فـــي زبد الزمكان إلى الانهيار إلى مضغة كبيرة، لكنها اســـتمرت في التمدد. هذا هو كوننا. وبحسب ألان غوث، فإن هذا يعني أن الكون بأكمله ما هو إلا غداء مجاني.

في الكونية الكمومية يبدأ الفيزيائيون بنموذج يحاكي معادلة شرودينغر التـــي تحكم التابع الموجي للذرات والإلكترونات. وهم يســـتخدمون معادلة ديويت - ويلر التي تعمل على «التابع الموجي للكون». ويعرّف تابع شرودينغر الموجـــي عادة عند كل نقطة فـــي الزمان والمكان، وبالتالي يمكن حســـاب احتمـــال العثور على إلكتـــرون عند تلك النقطة في الزمـــان والمكان. لكن

«التابع الموجي للكون» يعرف الأكوان الممكنة كلها. ولو صدف أن كان التابع الموجي للكون كبيرا عندما يعرف بالنسبة إلى كون معين، فإن هذا يعني أن هناك احتمالا كبيرا لأن يكون الكون في تلك الحالة المعينة.

تبنّى هوكنغ وجهة النظر هذه. فكوننا، كما يدّعي، مميز بين الأكوان الأخرى. إن التابع الموجي للكون كبير بالنسبة إلى كوننا، بينما يقرب من الصفر بالنسبة لمعظم الأكـوان الأخرى. لذا هناك احتمال صغير لكنـه محدد بإمكانية وجود أكوان أخرى في الكون المتعدد، لكن كوننا يمتلك الاحتمال الأكبر. يحاول هوكنغ في الحقيقة اشتقاق التضخم بهذ الطريقة. في هذه الصورة، فإن الكون الذي يتضخم أكثر احتمالا من كون لا يتضخم، وبالتالي فقد تضخم كوننا.

قد تبدو نظرية خلق كوننا من «لا شـيء» زبد الزمكان غير قابلة للاختبار إطلاقـا، لكنها تتسـق مع ملاحظات عدة بسـيطة. أولا، أشـار العديد من الفيزيائيـين إلى أن مـن المدهش أن يكون المجموع الكلي للشـحنات الموجبة والشـحنات السـالبة في كوننا هو الصفـر تماما، على الأقـل ضمن الدقة التجريبيـة. ونعتبـر أن من البديهـي أن تكون الجاذبية القوة المسـيطرة في الفضـاء الخارجـي، لكن هـذا يعود إلى أن الشـحنات الموجبة والشـحنات السالبة تلغي بعضها بعضا تماما. لو كان هناك أقل قدر من عدم التوازن بين الشـحنات الموجبة والشحنات السـالبة على الأرض، فقد يكون كافيا لتمزيق الأرض، متغلبا على قوة الجاذبية التي تمسك الأرض بعضها ببعض. إن إحدى الطرق البسـيطة لشرح التوازن بين الشحنات الموجبة والسالبة هو الافتراض بأن كوننا أتى من «لا شيء» وأن الـ «لا شيء» لايمتلك أي شحنة.

وثانيـا، فليـس لكوننا لف ذاتي. وعلـى الرغم من أن كيـرت غوديل حاول لسـنوات أن يظهر أن الكون كان يلـف بإضافة لفات المجرات المختلفة فيه، فإن الفلكيـين اليوم يعتقدون أن اللف الكلي للكون يعادل الصفر. ويمكن شـرح هذه الظاهرة بسهولة إذا أتى الكون من «لا شيء»، لأن للـ «لا شيء» لف يعادل الصفر.

وثالثا، يسـاعد كوننا المخلوق من لا شـيء في تفسير المحتوى الضئيل جدا وربما الصفر من المادة - طاقة للكون. فعندما نضيف الطاقة الموجبة للمادة إلى الطاقة السـالبة المتعلقة بالجاذبية، فإن الاثنتين تلغي إحداهما الأخرى. وبحسب النسـبية العامة، لو كان الكون مغلقا ومحددا فيجب أن

تكون كميــة الطاقة – المادة في الكون صفرا تماما. (لو كان كوننا مفتوحا ولامتناهيا فليس من الضروري أن يكون هذا صحيحا، لكن يبدو أن نظرية التضخم تشير إلى أن الكمية الكلية للمادة – طاقة في كوننا صغيرة جدا).

اتصال بين الأكوان؟

يترك هذا بعض الأسئلة المحرّضة: إذا لم يستطع الفيزيائيون استبعاد احتمال وجــود أنواع متعددة من الأكوان المتوازيــة فهل من الممكن إجراء اتصال معها؟ أو زيارتها؟ أو هل من الممكن أن تكون كائنات من أكوان أخرى قد قامت بزيارتنا؟

يبدو مــن غير المحتمل أن يحصل اتصال مع أكوان كمومية فكّت علاقتها مع كوننا. ويعود السبب في فك علاقتنا مع الأكوان الأخرى إلى أن ذراتنا قد ارتطمت بعدد لا يحصى من الذرات الأخرى في البيئة المحيطة. وفي كل مرة يحــدث فيها تصــادم يظهر التابع الموجي لتلك الذرة وهــو «ينهار» قليلا، أي يتناقــص عدد الأكوان الموازية. ويقلــص كل تصادم عدد الاحتمالات. ويعطي المجموع الكلي لتريليونات «الانهيــارات الصغيرة» الذرية هذه كلها الوهم بأن ذرات أجســامنا قــد انهارت كليا إلى حالة معينــة. إن «الحقيقة الموضوعية» لآينشــتاين هي وهم خلق من حقيقة أن لدينا ذرات كثيرة جدا في أجسامنا. تصطدم كل واحدة منها بالأخرى وفي كل مرة تقلص عدد الأكوان الممكنة.

ويبــدو كما لو أننا ننظر إلى صورة غيــر مركزة من خلال آلة تصوير. تماثــل هذه الصورة العالم الميكروي حيث يبدو كل شــيء فيه غائما وغير محدد. لكن في كل مرة تعدل فيها عدســة الكاميرا تصبح الصورة أوضح فأوضح. ويعادل هذا تريليونات التصادمات الصغيرة مع الذرات الأخرى، حيــث ينقص كل تصادم منها عدد الأكوان المحتملة. وبهذه الطريقة نحقق بسلاسة الانتقال من العالم الميكروي الغائم إلى العالم الماكروي الواضح.

لذا فاحتمال التفاعل مع كون كمومي آخر مشــابه لكوننا ليس صفرا، لكنه يتناقص بسرعة مع عدد الذرات في جسمك. وبما أن هناك تريليونات التريليونــات من الذرات في جســمك، فإن فرصــة التواصل مع كون آخر يتألف من ديناصورات وغرباء صغيرة جدا. ويمكنك حســاب أن عليك أن تنتظر فترة أطول بكثير من عمر الكون بأكمله ليتم ذاك الاتصال.

ولذا فالاتصال مع كون كمومي مواز لا يمكن استبعاده، لكنه سيكون حدثا نـــادرا جدا، لأننا فككنا ارتباطنـــا معها. لكننا نصادف فـــي علم الكون نوعا مختلفا من الأكوان: كون متعـــدد يتألف من أكوان يمكنها التعايش بعضها مع بعض مثل فقاعات من الصابون تعوم في حمام من الفقاعات. إن الاتصال مع كون آخر في الكون المتعدد مسألة مختلفة. إنه سيكون بالتأكيد انجازا صعبا، لكنه قد يكون ممكنا بالنسبة إلى حضارة من النوع الثالث.

وكما ناقشـــنا مســـبقا، فإن الطاقة اللازمة لفتح ثقـــب في الفضاء أو لتضخيم زبد الزمكان هي بمســـتوى طاقة بلانك، حيـــث تتعطل الفيزياء المعروفة كلها. فالزمان والمكان ليســـا مســـتقرين عند هـــذه الطاقة، وهذا يفتـــح الإمكانية لمغادرة كوننا (بافتراض وجـــود أكوان أخرى وأننا لن نقتل أثناء العملية).

ليس هذا ســـؤالا أكاديميا بحتا لأنه يجب على الحياة الذكية في الكون كلها أن تواجه يوما ما مســـألة نهايـــة الكون. وفي النهاية، قد تقدم نظرية متعدد الأكوان الخلاص للحياة الذكية في كوننا. تؤكد البيانات الحديثة من القمر الصناعي WMAP الـــذي يدور حاليا حول الأرض أن الكون يتمدد بمعدل متســـارع. وقد نهلك كلنا يوما ما فيما يدعوه الفيزيائيون بالتجمد الكبير. ففي نهاية المطاف، ســـيصبح الكون بأكمله أســـود، وسوف تنطفئ النجوم في الســـماء كلها. وسيتألف الكون من نجوم ميتة ونجوم نيوترونية وثقوب ســـوداء. وحتى الذرات نفسها في أجسامنا قد تبدأ بالتفكك. وقد تهبط درجات الحرارة إلى قرب الصفر المطلق، مما يجعل الحياة مستحيلة.

ومـــع اقتراب الكون من هـــذه النقطة، يمكن لحضـــارة متقدمة تواجه المـــوت النهائي لكوننا أن تفكر في القيام بالرحلـــة النهائية إلى كون آخر. وبالنسبة لتلك الكائنات، فإن الخيار سيكون بين الموت متجمدة أو المغادرة. إن قوانـــين الفيزياء هي بمنزلة حكم بالموت للحياة الذكية كلها، لكن هناك فقرة خلاص في هذه القوانين.

علـــى حضارة من هذا النوع أن تطـــوّع طاقة محطمات الذرة الضخمة وأشـــعة ليزر بحجم النظام الشمســـي أو تجمعا لنجوم تقوم بتركيز طاقة هائلة في نقطة وحيدة للحصول على طاقة بلانك الشهيرة. ومن الممكن أن

القيام بهذا سيكفي لفتح ثقب دودي أو ممر إلى كون آخر. وقد تستخدم حضارة من النوع الثالث الطاقة الهائلة تحت تصرفها لفتح ثقب دودي مع رحلتها إلى كون آخر، تاركة كوننا الذي يموت لتبدأ من البداية مرة أخرى.

كون وليد في المختبر؟

على الرغم من كون هذه الأفكار بعيدة عن الواقع، فإنها أخذت على محمل الجد من قبل الفيزيائيين. على سبيل المثال، عندما نحاول فهم كيف بدأ الانفجار الكبير علينا أن نحلل الظروف التي ربما قادت إلى الانفجار الأصلي. وبعبارة أخرى علينا أن نسأل: كيف يمكنك صنع كون وليد في المختبر؟ يقول آندري ليندي من جامعة ستانفورد، وأحد المشاركين في فكرة الكون المتضخم، أننا لو استطعنا صنع أكوان وليدة «يمكننا عندها أن نعيد تعريف الإله ككائن أكثر تطورا من مجرد خالق للكون».

ليست الفكرة جديدة. فمنذ سنوات حسب الفيزيائيون الطاقة اللازمة لإشعال الانفجار الكبير. ويسأل ليندي: «بدأ الناس فورا بالتساؤل عما سيحدث لو وضعت كمية كبيرة من الطاقة في مكان واحد في مجموعة طلقات مدافع المختبر مع بعضها. هل يمكنك تركيز كمية كافية من الطاقة لبدء انفجار كبير على المستوى الصغير؟».

لو ركزت طاقة كافية في نقطة واحدة فكل ما ستحصل عليه هو انهيار الزمكان إلى ثقب أسود ولا شيء آخر. لكن ألان غوث وليندي من الـ MIT اقترحا عام 1981 نظرية «الكون المتضخم» التي ولّدت منذ ذلك الحين اهتماما كبيرا بين علماء الكون. وبحسب هذه الفكرة بدأ الانفجار الكبير بتمدد مدفوع أسرع بكثير مما اعتقد مسبقا. (حلّت فكرة الكون المتضخم العديد من المشاكل المعقدة في علم الكون، مثل لماذا يجب أن يكون الكون متجانسا. ففي أي مكان ننظر إليه من أحد أطراف السماء في الليل إلى الطرف المقابل، نرى كونا متجانسا، على الرغم من أنه لم يكن هناك وقت كاف منذ الانفجار الكبير لهذه المناطق المفصولة بشكل واسع لتكون على اتصال. الجواب على هذه المعضلة بحسب نظرية الكون المتضخم هو أن قطعة ضئيلة من الزمكان الذي كان متجانسا نسبيا انفجر ليصبح الكون

المرئـــي بكامله). ومـــن أجل القفزة لبدء التضخـــم، افترض غوث أنه عند بدايـــة الزمان كانـــت هناك فقاعات ضئيلة من الزمـــكان، حيث تضخمت إحداها بشكل كبير لتصبح الكون الحالي.

في ضربة واحدة أجابت نظرية الكون المتضخم عن مجموعة من الأسئلة الكونية. والأكثر من ذلك، فإنها متســـقة مع كل البيانات التي تتدفق اليوم من قمري WMAP وCOBE في الفضاء الخارجي. إنها في الحقيقة، بلا شك، المرشح الأول لنظرية الانفجار الكبير.

ومـــع ذلك تثير نظرية الكون المتضخم مجموعة من الأســـئلة المحرجة. لمـــاذا بدأت هـــذه الفقاعة بالتضخم؟ ما الذي أوقـــف التمدد لينتج الكون الحالـــي؟ لو حدث التضخم مـــرة، هل من الممكن أن يحـــدث مرة أخرى؟ للمفارقة، على الرغم من أن سيناريو التضخم هو النظرية الرائدة في علم الكون، فلا يعرف شـــيء تقريبا إلى الآن حول مـــا الذي دفع التضخم إلى الحركة ولماذا توقف.

مـــن أجل الإجابة عن هذه الأســـئلة الملحة ســـأل آلان غـــوث وادوارد فاهري من الـ MIT عام 1987 سؤالا افتراضيا آخر: كيف يمكن لحضارة متطورة أن تضخّم كونها؟ لقد اعتقدا أنهما لو أجابا عن هذا السؤال فقد يستطيعان الإجابة عن سؤال أعمق حول تضخم الكون منذ البداية.

لقـــد وجدا أنك لـــو ركّزت طاقـــة كافية في نقطة واحدة فستتشـــكل فقاعات ضئيلة من الزمكان بشكل تلقائي. ولكن لو كانت الفقاعات ضئيلة جدا، فســـتختفي وتعود إلى زبد الزمكان. فقط إذا كانت الفقاعات كبيرة بما يكفي ليمكنها التمدد إلى كون كامل.

لا يبـــدو مولد هذا الكون الجديد من الخارج شـــيئا كبيرا، وربما ليس أكثـــر مـــن تفجير قنبلة نوويـــة بطاقة 500 كيلو طن. وســـيبدو كما لو أن فقاعة صغيـــرة اختفت من الكون تاركة انفجـــارا نوويا صغيرا. لكن ربما يتمدد كون جديد بأكمله داخل الفقاعة إلى الخارج. فكر في فقاعة صابون تتشـــطر أو تبرعم فقاعة أصغر خالقة فقاعـــة صابون وليدة. ربما تتمدد فقاعة الصابون الصغيرة بسرعة إلى فقاعة صابون جديدة تماما. وبالمثل ستلاحظ داخل الكون انفجارا ضخما للزمكان وخلق كون بكامله.

ومنذ عام 1987 اقترحت نظريات عدة لمعرفة ما إذا كان إدخال الطاقة يمكنه جعل فقاعة كبيرة تتمدد إلى كون بكامله. والنظرية الأكثر قبولا هي أن جسيما جديدا دعي «الانفلاتون» (Inflaton) سبب عدم استقرار الزمكان مسببا تشكل هذه الفقاعات وتمددها.

تفجر آخر جدال عام 2006، عندما بدأ الفيزيائيون النظر بجد إلى اقتراح جديد لإشعال كون وليد بقطب وحيد. وعلى الرغم من أن الجسيمات وحيدة القطب التي تحمل قطبا شماليا أو قطبا جنوبيا فقط لم تر من قبل على الاطلاق، فإن من المعتقد أنها سيطرت على الكون الأولي. وهي ضخمة جدا بحيث إن من الصعب جدا صنعها في المختبر لكن بالضبط لأنها كبيرة جدا، لو حقنّا طاقة أكبر في قطب وحيد فقد نستطيع إشعال كون وليد لكي يتمدد إلى كون حقيقي.

لماذا يريد الفيزيائيون خلق كون؟ يقول ليندي. «يمكن بهذا المعنى لأي منا أن يصبح إلها». لكن هناك سبب أكثر واقعية للرغبة في خلق كون جديد: في النهاية، للهرب من الموت المحتم لكوننا.

تطور الأكوان؟

مدّ بعض الفيزيائيين هذه الفكرة إلى اقصى حدود الخيال العلمي بالسؤال عما إذا كان للذكاء يد في تصميم كوننا.

في صورة غوث / فاهري، يمكن لحضارة متقدمة أن تخلق كونا وليدا، لكن الثوابت الفيزيائية (مثل كتلة الإلكترون والبروتون وشدات القوى الأربع) هي نفسها. ولكن ماذا لو استطاعت حضارة متقدمة أن تخلق أكوانا وليدة تختلف قليلا في ثوابتها الأساسية؟ تستطيع الأكوان الوليدة عندها أن «تتطور» مع الزمن، بحيث يختلف كل جيل من الأكوان الوليدة قليلا عن الجيل الذي سبقه.

لو اعتبرنا أن الثوابت الأساس هي دنا كون ما، فهذا يعني أن الحياة العاقلة قد تستطيع خلق أكوان وليدة بدنا مختلفة قليلا. وفي النهاية، ستتطور الأكوان وستكون الأكوان السائدة هي تلك التي تمتلك أفضل دنا تسمح بازدهار الحياة العاقلة. اقترح الفيزيائي ادوارد هاريسون، مؤسسا

على فكرة سابقة للي سمولين، «اختيارا طبيعيا» بين الأكوان. فالأكوان التي تسيطر على متعدد الأكوان هي بالضبط تلك التي تمتلك أفضل دنا، والتي تلائم بناء حضارات متقدمة، والتي تخلق بدورها أكوانا وليدة أكثر. «البقاء للأصلح» يعني ببساطة بقاء الأكوان الأكثر تفضيلا لإنتاج حضارات متقدمة.

لو أن هذه الصورة صحيحة فستوضح لماذا كانت الثوابت الأساسية في الكون «مضبوطة جيدا» لتسمح بوجود الحياة. إنها تعني ببساطة أن الأكوان بثوابت أساسية مرغوبة تتلاءم مع وجود حياة هي التي تنتشر في متعدد الأكوان.

(على الرغم من أن فكرة «تطور الأكوان» هذه جذابة لأنها قد تستطيع تفسير مسألة المبدأ الإنساني (الأنثروبي)، فإن الصعوبة في هذه الفكرة هي أنها غير مستقرة وغير قابلة للنقض. علينا أن ننتظر حتى نمتلك نظرية كل شيء كاملة قبل أن نستطيع فهم هذه الفكرة).

حاليا فإن تقانتنا بدائية جدا كي تظهر وجود هذه الأكوان المتوازية. لذا يصنف هذا كله على أنه استحالة من النوع الثاني - أي أنها مستحيلة اليوم، لكنها لا تخترق قوانين الفيزياء. وعلى مدى آلاف إلى ملايين السنين يمكن لهذه التخمينات أن تصبح أساس تقانة جديدة لحضارة من النوع الثالث.



الباب الثالث

مستحيلات من الصنف الثالث

14

آلات دائمة الحركة

تمر النظريات بأربع مراحل من القبول:

- هذا هراء لا معنى له.
- هذا مثير، لكنه شاذ.
- هذا صحيح، لكنه غير مهم.
- لقد قلت ذلك دوما.

جي. بي. أس هالدين 1965

في رواية اسحق آسيموف الكلاسيكية «الآلهة أنفسهم» (The Gods Themselves)، يقع كيميائي مغمور بالصدفة في العام 2070 على أعظم اكتشاف، وهي المضخة الإلكترونية التي تنتج مجانا طاقة لا محدودة. كان التأثير عميقا وفوريا. أسبغ عليه لقب أعظم عالم في كل الأزمان لإشباعه عطش الحضارة الذي لا ينتهي للطاقة. كتب آسيموف: «لقد كان سانتا كلوز ومصباح علاء الدين للعالم بأكمله»[1]،

«لا يمكن لأي نظرية أن تفسر الطاقة السوداء، على الرغم من أن الدليل على وجودها بالتجربة واضح جدا»

المؤلف

وأصبحت الشـــركة التي شكلها فورا إحدى أغنى الشـــركات في العالم، مما أنهى الحاجة إلى صناعات النفط والغاز والفحم الحجري والطاقة النووية.

يمتلئ العالم بالطاقة المجانية وتسكر الحضارة بهذه الطاقة الجديدة. ومع احتفال الجميع بهذا الإنجاز العظيم، هناك فيزيائي واحد غير مسرور بذلك. إنه يسأل نفسه «من أين تأتي هذه الطاقة المجانية كلها؟»، ويفلح في النهاية في حل اللغـــز، فالطاقة المجانية تأتي بثمن باهظ. إنها تتدفق من خـــلال ثقب في الفضاء يصل كوننا بكـــون مواز، ويؤدي تدفق الطاقة على كوننا إلى حدوث تفاعل متسلســـل ســـيؤدي في النهاية إلى تحطيم النجوم والمجرات، محولا الشمس إلى نجم مستعر، محطما الأرض معها.

ومنذ بـــدء التاريخ المـــدون كانت «آلـــة الحركة الدائمة» الأســـطورية «التـــي تدور للأبد من دون أي ضياع في الطاقة» بمنزلة الكأس المقدســـة للمخترعـــين والعلمـــاء والمحتالـــين والفنانين المخادعين أيضا. والنســـخة الأفضـــل منها عبارة عن آلة تخلق طاقة أكثر مما تســـتهلك، مثل المضخة الإلكترونية التي تخلق طاقة مجانية بلا حدود.

وفي الســـنوات المقبلة، بينما يســـتنفد عالمنا الصناعي بالتدريج النفط الرخيص، ســـيكون هناك ضغط هائل للعثور على مصادر جديدة ومتوافرة مـــن الطاقة النظيفة. لقد أدى ارتفاع أســـعار الغـــاز والهبوط في إنتاجه وازدياد التلوث والتغيرات المناخية، إلى عودة الاهتمام بالطاقة بشدة.

واليـــوم تعد قلة من المخترعين الراكبين لهذه الموجة بتقديم كميات غير محدودة من الطاقـــة المجانية ويعرضون مخترعاتهم للبيع بمئات الملايين. ويصطف عدد من المستثمرين في الدور من حين لآخر، تحفزهم ادعاءات مثيرة في وســـائل الإعـــلام المالية تصف غرباء الأطوار هـــؤلاء على أنهم بمنزلة «أديسون جديد».

إن شـــعبية الآلات دائمة الحركة واســـعة جدا. وفي حلقة من مسلسل «السيمبســـونز» «حل جمعية المدرســـين وأولياء الأمور» (*) تبني ليزا آلتها دائمـــة الحركة أثناء إضراب للمعلمين. ويحفـــز هذا هومر ليعلن بصرامة «ليزا، تعالي هنا... في هذا البيت نطيع قوانين الثرموديناميك».

(*) The Simpsons: The PTA Disbands.

وتبـــرز ألعاب الحاســـوب مثل الســـيمز، زينوســـاغا الحلقتان 1 و2، وألتيمـــا 6: «النبي المزيف»، وأيضا برنامـــج قناة نيكلوديون «الغازي زيم» الآلات دائمة الحركة في حبكتها (*).

لكن إذا كانت الطاقة ثمينة إلى هذا الحد، فما احتمال صنع آلة دائمة الحركة بالضبط؟ هل هذه الآلات مســـتحيلة حقـــا، أو هل يتطلب صنعها تعديل قوانين الفيزياء؟

رؤية التاريخ من خلال الطاقة

الطاقـــة حيوية للحضـــارة. في الحقيقة، يمكن رؤية التاريخ البشـــري بكامله من خلال عدســـات الطاقة. وبالنســـبة إلى الـ 99.9% من الوجود الإنساني كانت المجتمعات البدائية من الرحل تحصل عيشا بائسا بالصيد والالتقاط. كانت الحياة قصيرة وقاســـية. كانت الطاقة المتوافرة لنا تعادل خمس حصان بخاري، وهي طاقة عضلاتنا. وتظهر تحاليل عظام أسلافنا دليلا على الاهتراء والتمزق الذي كان يصيبها نتيجة الأعباء الثقيلة اليومية للبقاء على قيد الحياة. كان عمر الانسان في ذلك الوقت عشرين عاما.

لكـــن بعـــد انتهاء آخر عصر جليدي، منذ حوالي عشـــرة آلاف ســـنة، اكتشـــفنا الزراعة وتدجين الحيوانات، وخاصة الحصان، ورفعنا بالتدريج إنتاجنا من الطاقة إلى واحد أو 2 حصان بخاري. لقد حرك هذا أول ثورة عظيمة في التاريخ البشـــري. وباســـتخدام الحصان أو الثور يمتلك رجل واحد كمية كافية من الطاقة لحرث حقل كامل بنفســـه، ويســـافر عشرات الأميـــال في يـــوم واحد. أو يحرك مئات الأرطال مـــن الصخر أو الحبوب مـــن مكان إلى آخر. وللمرة الأولى في التاريخ البشـــري حصلت العائلات على فائض من الطاقة وكانت النتيجة تأســـيس مدننا الأولى. عنت الطاقة الزائـــدة أن المجتمع يمكنه دعم طبقة مـــن الحرفيين والمعماريين والبنائين والكتبـــة، وبالتالي أمكـــن للحضـــارة القديمة أن تزدهر. وحـــالا ارتفعت الأهرامات والحضارات العظيمة من الغابات والصحراء. ووصل توقع عمر الفرد إلى حوالي 30 سنة.

(*) The Sims, Xenosaga Episodes 1 & 11, Ultima VI: The False Prophet, .Invader Zim

ثم حدثت الثورة العظيمة الثانية في تاريخ البشـــرية منذ ثلاثمائة عام. ومع قدوم الآلات وقوة البخار ارتفع مقدار الطاقة المتاحة لشـــخص واحد إلى عشـــرات الأحصنة. وبتطويع طاقة القطار البخاري اســـتطاع الناس قطع قارات بأكملها في عدة أيام. واســـتطاعت آلات الحصاد حرث حقول بأكملها ونقل مئات الركاب إلى مســـافات بآلاف الأميال والسماح لنا ببناء مدن بأبراج ضخمة. ووصل عمر الإنســـان فـــي العام 1900 في الولايات المتحدة إلى خمسين عاما تقريبا.

اليوم نحن وســـط الثورة العظيمة الثالثة في التاريخ البشري، وهي ثورة المعلوماتية. وبســـبب الانفجار الســـكاني ونهمنـــا الكبير للكهرباء والطاقة ارتفعـــت حاجاتنا للطاقة كثيرا، ومـــدت إمداداتنا من الطاقة إلـــى حدودها القصوى. وأصبحت الطاقة المتاحة لكل فرد بحدود آلاف الأحصنة. ونعتبر أن من البديهي أن تولد ســـيارة واحدة مئات الأحصنة البخارية. وليس من المستغرب أن يثير هذا الطلب على كمية أكبر فأكبر من الطاقة الاهتمام بخلق مصادر أكبر من الطاقة، بما في ذلك الآلات دائمة الحركة.

الآلات دائمة الحركة خلال التاريخ

إن البحـــث عـــن آلة دائمة الحركة قديم جدا. ويعود تاريخ أول ســـجل لمحاولة بناء آلة دائمة الحركة إلى القرن الثامن الميلادي في بافاريا. كانت هذه الآلة نموذجا أوليا لمئات الآلات التي ســـتظهر في الألف سنة التالية. كانت مؤسسة على سلسلة من المغانط الصغيرة الموضوعة على دولاب مثل دولاب فيريس (*). وضع الدولاب على أعلى مغناطيس أكبر بكثير موضوع على الأرض. ومع مرور كل مغناطيس على الدولاب فوق المغناطيس الكبير الثابـــت يفترض أن ينجذب ثم ينفر من المغناطيـــس الأكبر، وبالتالي يدفع الدولاب ويخلق حركة دائمة.

وضـــع تصميـــم أصيل آخر في العـــام 1150 من قبل الفيلســـوف الهندي بهاســـكار، الذي اقتـــرح دولابا يدور للأبـــد بإضافة وزن على

(*) Ferris Wheel، دولاب الملاهي.

حافته، مسببا لف الدولاب لأنه لم يكن متوازنا. يتحقق العمل من قبل الوزن أثناء دورانه ثم يعود إلى وضعه الأصلي. وبإعادة هذه العملية مرة بعد أخرى، ادعى بهاسكار أن بإمكان المرء أن يستخلص عملا لا ينتهي من الطاقة مجانا.

تشترك التصاميم البافارية مع تصميم بهاسكار للآلات دائمة الحركة والعديد من أحفادها بالعناصر الرئيسة نفسها: دولاب من نوع ما يمكنه القيام بدورة واحدة بدون إضافة أي طاقة وينتج عملا يمكن استعماله أثناء ذلك (يظهر الفحص الدقيق لهذه الآلات الأصيلة أن الطاقة في الحقيقة تضيع في كل دورة، أو أنه من غير الممكن استخلاص عمل مفيد منها).

ومع قدوم عصر النهضة تسارعت وتيرة الاقتراحات لبناء آلات دائمة الحركة. منحت براءة الاختراع الأولى لآلة دائمة الحركة في العام 1635. وبحلول العام 1712 حلل يوهان بيسلر ثلاثمائة نموذج مختلف من هذه الآلات، واقترح واحدا من تصميمه (وبحسب الأسطورة، فقد أظهرت خادمته أن آلته مسروقة). وحتى رسام عصر النهضة العظيم والعالم ليوناردو دافنشي أصبح مهتما بالآلات دائمة الحركة. وعلى الرغم من أنه أدانها علنا، مقارنا إياها بالبحث العقيم عن حجر الفلاسفة (*)، إلا أنه صنع في السر رسومات عبقرية في دفاتره لآلات ذاتية الدفع ودائمة الحركة، بما في ذلك مضخة مركزية ومحور يستخدم لتدوير سيخ الشوي فوق النار.

وبحلول العام 1775 اقترحت تصاميم عديدة، بحيث ذكرت الأكاديمية الملكية للعلوم في باريس أنها «لن تقبل بعد الآن اقتراحات تتعلق بالآلات دائمة الحركة أو تتعامل معها».

كتب آرثر أورد هيوم، وهو مؤرخ للآلات دائمة الحركة، حول جهد ومثابرة المخترعين الذين كانوا يعملون من دون كلل ضد مصاعب كبيرة، وقارنهم بالكيميائيين القدامى (الخيميائيين)، لكنه سجل «حتى الخيميائي... يعلم عندما يقهر».

(*) حجر الفلاسفة هو مادة أسطورية اعتقد أنها قادرة على تحويل الفلزات الرخيصة إلى ذهب، وظل الاعتقاد بها سائدا حتى أواخر القرن الثامن عشر - [المحررة].

الحيل والخدع

كان الحافـــز لإنتاج آلة دائمة الحركـــة قويا جدا بحيث أضحت الخدع شـــائعة. في العام 1813 عرض تشـــارلز ريدهيفر آلة في مدينة نيويورك أدهشـــت الجمهور، منتجة طاقة غير محـــدودة مجانا (لكن عندما فحص روبرت فولتون الآلـــة بعناية وجد حزاما مخبأ يدور الآلة. كانت هذه الآلة بدورها موصولة برجل يدير محورا سريا في ملحق البيت).

حمل العلماء والمهندســـون أيضا بهذا الحماس الشـــديد لآلات الحركة الدائمة. وفي العام 1870 خدع محررو الساينتفيك أمريكان (Scientific American) بآلـــة بنيت من قبل إي. بي. ويليس. روت المجلة قصة بعنوان مثير «أعظم اكتشاف حتى الآن»، لكن المحققين اكتشفوا بعد ذلك أن هناك مصدرا مخفيا للطاقة لآلة ويليس دائمة الحركة.

وفـــي العام 1872 ارتكب جون ايرنســـت وريل كيلـــي أعظم عمليات الاحتيال إثارة في ذلك الزمن بخداعه مســـتثمرين بمبلغ 5 ملايين دولار وهو مبلغ محترم أواخر القرن التاســـع عشـــر. بنيـــت آلته دائمة الحركة على مســـنن دوار وادعى أنه متصل بـ «الأثير» (ether). ودعا كيلي، الذي ليس له خلفية علمية، مستثمرين أغنياء إلى بيته، حيث أدهشهم بمحركه النبضـــي المائي/ هوائي الفراغي الـــذي تحرك من دون أي مصدر طاقة خارجي. انهمر المســـتثمرون الذين أدهشـــتهم هذه الآلـــة ذاتية الحركة، وأغدقوا المال عليه.

لكن بعض المســـتثمرين المحبطين بالخداع اتهمـــوه بعد ذلك بالاحتيال، وقضى بالفعل بعض الوقت في السجن، على الرغم من أنه مات رجلا غنيا. وبعد موته عثر المحققون على السر الذكي لآلته. فعندما دمر منزله، وجدت أنابيـــب مخفية فـــي أرض القبو وجدرانـــه زوّدت الآلات بالهواء المضغوط، والتي بدورها زودت الطاقة إلى هذه الأنابيب بواسطة عجلة دوارة.

وحتى الأســـطول الأمريكي ورئيس الولايات المتحدة الأمريكية خدعوا بمثـــل هذه الآلة. وفي العام 1881 اخترع جون غامجي آلة تعمل بالأمونيا السائلة. يخلق تبخير الأمونيا الباردة غازا متمددا يمكنه أن يحرك مكبسا، وبالتالي يمكنه تحريك آلة باستخدام حرارة المحيط فقط. أعجب الأسطول

الأمريكي جدا بفكرة استخلاص طاقة غير محدودة من المحيطات، بحيث إنه وافق على الآلة، حتى إنه عرضها على رئيس الولايات المتحدة الأمريكية جيمس غارفيلد، لكن المشكلة أن البخار لم يتكاثف إلى سائل بشكل جيد، وبالتالي لم تكتمل الدارة.

قدّمت اقتراحات كثيرة جدا لآلات دائمة الحركة إلى مكتب براءات الاختراع والعلامات التجارية في الولايات المتحدة، لكن المكتب رفض منح براءة اختراع لمثل هذه الآلات ما لم يعرض نموذج عامل لها. وفي بعض الحالات النادرة، عندما لم يجد الفاحصون أي خطأ في النموذج، منحت براءة الاختراع. ويقول المكتب «عدا عن الحالات التي تشمل حركة دائمة، لاحاجة عادة لتقديم نموذج إلى المكتب لتوضيح عمل الجهاز» (سمحت هذه الثغرة لمخترعين من دون ضمير بأن يقنعوا المستثمرين السذج بتمويل اختراعاتهم، بادعاء أن المكتب قد اعترف رسميا بهذه الآلة).

لكن البحث عن آلة دائمة الحركة لم يكن عقيما من وجهة نظر العلم. على العكس، على الرغم من أن المخترعين لم ينتجوا أبدا آلة دائمة الحركة، إلا أن الوقت والجهد اللذين صرفا في بناء مثل هذه الآلة الخرافية قادت الفيزيائيين إلى دراسة طبيعة المحركات الحرارية بعناية (بالطريقة نفسها ساعد البحث العقيم للكيميائيين القدامى عن حجر الفلاسفة الذي يقلب الرصاص إلى ذهب في الكشف عن بعض القوانين الأساسية في الكيمياء).

على سبيل المثال، طور جون كوكس في العام 1760 ساعة يمكنها بالفعل العمل للأبد تتحرك بتغيرات في الضغط الجوي. وستحرك التغيرات في الضغط مقياسا للضغط يدير بدوره عقارب الساعة. وفي الحقيقة، عملت هذه الساعة ومازالت موجودة إلى اليوم. ويمكن لهذه الساعة أن تعمل إلى الأبد، لأن الطاقة تستخلص من الخارج على شكل تغيرات في الضغط الجوي.

قادت الآلات دائمة الحركة مثل آلة كوكس في النهاية العلماء لافتراض أن مثل هذه الآلات قد تعمل للأبد إذا جلبت الطاقة إليها من الخارج، أي أن الطاقة الكلية محفوظة. قادت هذه النظرية في النهاية إلى القانون

الأول فـي الثرموديناميـك (الديناميكا الحرارية)، وهـو أن الكمية الكلية للمـادة والطاقة لا تفنى ولا تنشـأ من العدم. وفـي النهاية صيغت ثلاثة قوانين فـي الثرموديناميك. وينص القانون الثاني علـى أن الكمية الكلية للإنتروبيـا (*) (الفوضى) تزداد بصورة دائمة (ينص هذا القانون، بصيغة أقل دقة، على أن الحرارة تتدفق فقط من أماكن أكثر سـخونة إلى أماكن أكثـر برودة). وينـص القانون الثالث على أنه من المسـتحيل الوصول إلى الصفر المطلق.

إذا قارنا الكون بلعبة وكان هدف هذه اللعبة اسـتخلاص الطاقة، فإنه يمكن إعادة صياغة القوانين الثلاثة على الشكل التالي:

لا يمكنك الحصول على شيء من لا شيء (القانون الأول).

لا يمكنك التعادل (القانون الثاني).

لا يمكنك حتى الخروج من اللعبة (القانون الثالث).

(حـرص الفيزيائيون على القـول إن هذه القوانين ليسـت بالضرورة صحيحة بشكل مطلق في كل الأزمنة. ومع ذلك، لم يعثر على أي انحراف عنهـا حتـى الآن. وعلى كل من يحاول نقض هـذه القوانين أن يعمل ضد قـرون من التجارب العلمية الدقيقة. سـوف نناقش انحرافات ممكنة عن هذه القوانين فيما بعد).

اقترنـت هـذه القوانين التي تعد بين أعظم إنجـازات العلم في القرن التاسـع عشر بمأساة وبنجاح أيضا، فقد انتحر أحد الشخصيات الرئيسة التي صاغت هذه القوانين، وهو الفيزيائي الألماني العظيم لودفيغ بولتزمان، جزئيا بسبب الجدل الذي ولّدته صياغة هذه القوانين.

لودفيغ بولتزمان والإنتروبيا

كان بولتزمـان رجلا قصير القامة ممتلئ الصدر وذا لحية كثة، لكن مظهـره المهيب والقوي كان يخفي كل الآلام التي عاناها في الدفاع عن أفكاره. وعلى الرغم من أن الفيزياء النيوتونية كانت مؤسسـة جيدا في القـرن التاسـع عشـر، إلا أن بولتزمـان كـان يعلـم أن هـذه القوانـين

(*) Entropy، تعرب الكلمة أحيانا بمصطلح «الاعتلاج» - [المحررة].

لا تنطبق بشكل دقيق على مبدأ الذرات المثير للجدل، وهي فكرة لم تكن مقبولة حتى ذلك الوقت من قبل العديد من العلماء البارزين (ننسى بعض الأحيان أنه حتى قرن مضى كان هناك فريق من العلماء أصروا أن الذرة كانت مجرد حيلة ذكية وليست شيئا حقيقيا. لقد ادعوا أن الذرات ضئيلة جدا بحيث إنها ربما ليست موجودة على الإطلاق).

برهن نيوتن أن القوى الميكانيكية جميعها، وليست الرغبات أو الأرواح، تكفي لتحديد حركة الأجسام كلها. قام بولتزمان بعد ذلك باشتقاق العديد من قوانين الغاز بأناقة بافتراض بسيط: أن الغازات مؤلفة من ذرات صغيرة جدا، مثل كرات البلياردو، تطيع قوانين القوى التي وضعها نيوتن. وبالنسبة إلى بولتزمان، حجرة تحتوي على الغاز كانت مثل صندوق مليء بتريليونات الكرات الفولاذية الصغيرة جدا، بحيث ترتد كل واحدة منها من الجدران ومن الكرات الأخرى بحسب قوانين نيوتن في الحركة. وفي أحد أعظم الإنجازات في الفيزياء برهن بولتزمان (وجيمس كلارك ماكسويل بشكل مستقل) رياضيا كيف ينتج هذا الافتراض البسيط قوانين جديدة مدهشة، ويفتح فرعا جديدا في الفيزياء عرف بالميكانيكا الإحصائية.

فجأة يمكن اشتقاق العديد من خصائص المادة من مبادئ أولية. وبما أن قوانين نيوتن تنص على أن الطاقة لا بد أن تحفظ عندما تطبق على الذرات، فكل ارتطام بين الذرات يحفظ طاقة، وهذا يعني أن الحجرة التي تحتوي على تريليونات الذرات بأكملها تحفظ الطاقة. يمكن الآن تقرير مبدأ الحفاظ على الطاقة ليس عن طريق التجربة فقط، وإنما من المبادئ الأولية، أي الحركة النيوتونية للذرات.

لكن وجود الذرات نفسه كان موضع جدل ساخن ومثارا للسخرية من قبل علماء بارزين في القرن التاسع عشر، مثل الفيلسوف ارنست ماخ. ووجد بولتزمان الحساس والمتشائم نفسه بشكل غير مريح مركزا للهجمات الشرسة التي كانت تشن عليه من قبل مناهضي الذرة. وبالنسبة إلى مناهضي الذرة فإن أي شيء لا يمكن قياسه ليس موجودا، بما في ذلك الذرات. إمعانا في إذلاله، رفض العديد من نشرات بولتزمان العلمية

من محرر مجلة فيزيائية ألمانية شــهيرة، لأن المحرر أصر على أن الذرات والجزيئات كانت أدوات ملائمة نظريا فقط بدل أن تكون أشــياء موجودة حقيقة في الطبيعة.

ولمرارته وخيبة أمله من هذه الهجمات الشــخصية كلها، شنق بولتزمان نفســه في العــام 1906، بينما كانــت زوجته وولده على الشــاطئ. ومع الأســف، لــم يعلم أنه منــذ عام فقط فعل فيزيائي شــاب اســمه البرت آينشتاين المستحيل: لقد كتب أول ورقة علمية يبرهن فيها وجود الذرات.

الإنتروبيا الكلية تزداد دوما

ســاعد عمل بولتزمــان والفيزيائيين الآخرين علــى توضيح طبيعة الآلات دائمــة الحركــة وتصنيفها إلى نوعــين: آلات دائمة الحركة من النــوع الأول، وهي التي تخرق القانون الأول في الثرموديناميك، أي أنها بالفعل تنتج طاقة أكثر مما تســتهلك. في كل حالة وجد الفيزيائيون أن هــذا النوع من الآلات دائمة الحركة يعتمد على مصادر خارجية مخفية مــن الطاقــة، إما من خلال الاحتيــال، أو لأن المخترع لم يدرك مصدر الطاقة الخارجية.

إن الآلات دائمــة الحركة من النــوع الثاني أكثر تعقيــدا. فهي تطيع القانــون الأول من الثرموديناميك - وهو الحفــاظ على الطاقة - لكنها تناقض القانون الثاني. ونظريا، لا تنتج آلة دائمة الحركة من النوع الثاني[2] حرارة ضائعــة، وبالتالي فكفاءتها 100%. ومع ذلك يقول القانون الثاني إن هذه الآلة مســتحيلة - لا بد دوما مــن إنتاج حرارة ضائعة - وبالتالي فإن الفوضى واللانظــام في الكون أو الإنتروبيا تزداد دوما. ومهما كانت كفــاءة الآلة فإنهــا دوما تنتج بعض الحرارة الضائعــة، وبالتالي تزيد من انتروبيا الكون.

تقع حقيقة زيادة الإنتروبيا الكلية بشكل مستمر في لب التاريخ البشري والطبيعة الأم أيضا. وبحســب القانون الثاني، فإن الهدم أسهل بكثير من البنــاء. ويمكن لشــيء مثل حضــارة الآزتك العظيمة في المكســيك، التي اســتغرق بناؤها آلاف السنين، أن تهدم خلال أشهر فقط، وهذا ما حدث

عندما قامت عصبة مبتذلة من المغيرين الإسبان المسلحين بالأحصنة والأسلحة النارية بتحطيم هذه الإمبراطورية العظيمة بالكامل.

في كل مرة تنظر فيها في المرآة لترى تجعيدة جديدة أو شعرة بيضاء فإنك تشاهد تأثيرات القانون الثاني. ويخبرنا علماء الأحياء أن عملية التقدم في السن هي نتيجة التراكم التدريجي للأخطاء الجينية في خلايانا وجيناتنا، بحيث تتراجع ببطء قدرة الخلية على العمل. إن الهرم والصدأ والتفسخ والتحلل والتفكك والانهيار كلها أمثلة على القانون الثاني أيضا.

وتعليقا على الطبيعة العميقة للقانون الثاني، صرح الفلكي آرثر ادينغتون مرة: «إن القانون الذي يقول أن الإنتروبيا تزداد دوما يحتل على ما أعتقد الموقع الأعلى بين قوانين الطبيعة كلها... ولو وجد أن نظريتك مناقضة للقانون الثاني في الثرموديناميك، فلا يمكنني أن أعطيك أي أمل، لا شيء سوى أن تنهار في أسوأ حالات الإذلال».

حتى اليوم يستمر المهندسون المبتكرون (والمحتالون المهرة) في الإعلان عن اختراع آلات دائمة الحركة. وقد طلب مني مؤخرا من قبل مجلة «وول ستريت» (Woll Street Journal) التعليق على عمل مخترع أقنع بالفعل مستثمرين بإغداق ملايين الدولارات على آلته. ونشرت مقالات مبهرة في صحف اقتصادية رئيسة كتبت من قبل صحافيين بخلفية علمية تتحدث حول إمكانية هذا الاختراع في تغيير العالم (وتوليد أرباح مغرية أثناء العملية)، وحملت هذه الصحف العناوين الرئيسة «عبقري أم محتال؟».

أهدر المستثمرون حزما من النقود على هذه الآلة التي اخترقت أكثر قوانين الفيزياء والكيمياء التي تدرّس في الثانويات أساسية)، ما صدمني ليس محاولة شخص خداع غافلين – فقد حدث هذا منذ بداية التاريخ، ما أدهشني هو أنه كان من السهل على هذا المخترع أن يخدع مستثمرين أغنياء بسبب افتقارهم إلى معرفة الفيزياء الأولية). كررت المجلة المثل القائل «من السهل جدا افتراق الغبي عن أمواله» ومقولة بي. تي. بارنوم «هناك مستغل يولد كل دقيقة». وربما ليس من المستغرب أن تنشر الفاينانشال تايمز والايكونومست وول ستريت جورنال كلها مقالات رئيسة ضخمة عن المخترعين المختلفين الذين عرضوا آلاتهم دائمة الحركة.

القوانين الثلاثة والتناظر

لكــن هــذا كله يثير ســؤالا أعمــق: لماذا تبقــى القوانــين الحديدية للثرموديناميك ثابتة في المقام الأول؟ إنه سرّ حير العلماء منذ أن اقترحت هذه القوانين لأول مرة. لو اســتطعنا الإجابة عن هذا السؤال ربما وجدنا ثغرات في هذه القوانين، وستكون تأثيرات ذلك محطمة للأرض.

دهشــت يوما ما وأنا في الجامعة عندما علمت أخيرا الأصل الحقيقي لمبدأ «حفظ الطاقة». إن أحد المبادئ الرئيســة في الفيزياء (اكتشــف من قبل عالمة الرياضيات ايمي نوثر العام) يقول: إنه كلما امتلك النظام تناظرا تكون النتيجة قانونا لحفظ الطاقة. ولو بقيت قوانين الكون ثابتة مع الزمن فســتكون النتيجة هي أن النظام يحفظ الطاقة (والأكثر من ذلك، لو بقيت قوانــين الفيزياء ثابتــة حين تتحرك في أي اتجاه، فــإن العزم يحفظ في أي اتجــاه أيضا. ولو بقيت قوانــين الفيزياء ثابتة تحت الدوران فإن العزم الزاوي يحفظ أيضا).

كان هذا مذهلا بالنسبة إلي. لقد أدركت أننا عندما نحلل ضوء النجوم من مجرات بعيدة بمليارات الســنين الضوئية عند حافة الكون المرئي نجد أن طيــف الضوء مطابق تماما للطيف الذي نســتطيع رؤيته على الأرض. وفي الضوء القديم المتبقي الذي صدر منذ مليارات الســنين، قبل أن تولد الشمس والأرض، نشاهد «البصمات» الواضحة نفسها لطيف الهيدروجين والهيليوم والكربون والنيون وما شابه التي نجدها في الأرض اليوم، وبعبارة أخــرى لم تتغير قوانين الفيزياء لملايين الســنين، وهــي ثابتة حتى حدود الحواف الخارجية للكون.

أدركــت على الأقل أن نظريــة نوثر تعني أن حفظ الطاقة ســيبقى لمليارات الســنين إن لم يكن للأبد. وبحســب ما نعلــم، لم تتغير أي من القوانــين الأساســية في الفيزياء مــع الزمن، وهذا هو الســبب في أن الطاقة تحفظ.

كانــت تأثيرات نظرية نوثر على الفيزيــاء الحديثة عميقة جدا. فكلما خلــق الفيزيائيــون نظرية جديدة تعالج منشــأ الكــون أو التفاعلات بين الكواركات والجســيمات تحــت الذرية الأخرى أو مضــاد المادة، نبدأ أولا

بالتناظر الذي يطيعه النظام. ومن المعروف الآن أن التناظر هو المبدأ الأساس الموجه لخلق أي نظرية جديدة. في الماضي اعتبرت التناظرات نواتج ثانوية لنظرية ما، خاصة ذكية لكنها بلا فائدة لنظرية جميلة إلا أنها ليست ضرورية. لكننا اليوم ندرك أن التناظرات هي الخاصة الرئيسة التي تحدد النظرية. وفي خلق نظريات جديدة نبدأ نحن الفيزيائيين أولا بالتناظر، ثم نبني النظرية حولها.

(للأسف كان على ايمي موثر، شأنها شأن بولتزمان، قبلها أن تقاتل بشدة للاعتراف بها. ولأنها امرأة، فقد حرمت من الحصول على وظيفة في مؤسسة رائدة بسبب جنسها. وقد غضب الرياضي العظيم ديفيد هيلبرت، المشرف على نوثر، لفشله في الحصول على وظيفة تدريسية لها بحيث إنه قال: «من نحن، جامعة أم ناد للسباحة؟»).

يثير هذا سؤالا مقلقا. إذا كانت الطاقة تحفظ بسبب عدم تغير قوانين الفيزياء مع الزمن، فهل يمكن كسر هذا التناظر في ظروف نادرة وغير عادية؟ ولايزال هناك احتمال بخرق حفظ الطاقة على مستوى كوني لو كسر تناظر قوانين في أماكن غريبة غير متوقعة.

إن إحدى الطرق التي قد تحدث فيها هي تغير قوانين الفيزياء مع الزمن أو المسافة (في رواية أسيموف «الآلهة أنفسهم» يكسر هذا التناظر لوجود ثقب في المكان يصل كوننا بكون مواز. تتغير قوانين الفيزياء بالقرب من ثقب في المكان، وبالتالي تسمح بانهيار قوانين الثرموديناميك. وبذلك يمكن اختراق قوانين الفيزياء، إذا كانت هناك ثقوب في الفضاء، أي عند وجود ثقوب دودية).

هناك ثغرة محل جدل ساخن اليوم، وهي فيما إذا كان من الممكن للطاقة أن تأتي من لا شيء.

الطاقة من الفراغ؟

السؤال المثير هو: هل من الممكن استخلاص الطاقة من لا شيء؟ أدرك العلماء مؤخرا فقط أن «لا شيء» الفراغ ليس فارغا على الإطلاق، بل يعج بالنشاط.

كان أحد المدافعين عن هذه الفكرة[3] عبقري القرن العشـــرين الغريب الأطوار نيكولا تيسلا، وهو منافس مناسب لتوماس أديسون. كان أيضا أحد مؤيـــدي طاقة النقطة صفر، أي فكرة أنه يمكن للفراغ أن يمتلك كميات لا تحد من الطاقة. ولو كان هذا صحيحا، فســيكون الفراغ «الغذاء المجاني»، القادر على تزويد طاقة غير محدودة من الهواء الخفيف. وسيكون الفراغ، بدلا من أن يكون خاليا من أي مادة، الخزان النهائي للطاقة.

ولد تيســـلا في بلدة صغيرة فيما يســـمى الآن سيبيريا، ووصل معدما إلـــى الولايات المتحدة في العـــام 1884. وحالا أصبح مســـاعدا لتوماس أديســـون، لكنه بســـبب عبقريته أصبح منافســـا له. وفي منافسة شهيرة دعاها المؤرخون «حرب التيارات»، نافس تيســـلا أديسون. اعتقد اديسون أن بإمكانه كهربة العالم بمحركات التيار المستمر (DC)، بينما برهن تيسلا صاحب فكرة التيار المتردد (AC) على أن طرقه أفضل بكثير من أديسون، وأنها تفقد طاقة أقل مع المســـافة. واليوم فإن الكوكب بأكمله مكهرب على أساس براءات اختراع تيسلا، وليس أديسون.يبلغ عدد اختراعات وبراءات اختراع تيسلا أكثر من سبعمائة، وتحتوي بعض أهم العلامات الفارقة في تاريـــخ الكهرباء الحديث. وقد قدم المؤرخون أدلة تتمتع بالمصداقية تبرهن على أن تيسلا اخترع الراديو قبل ماركوني (المعروف بأنه مخترع الراديو)، وكان يعمل على أشعة اكس قبل أن تكتشف رسميا من قبل ويلهيلم روتنغين (نال كل مـــن ماركوني وروتنغين جائزة نوبل على اكتشـــافات ربما قام بها تيسلر قبلهما بسنوات عدة).

اعتقد تيســـلا أن بإمكانه اســـتخلاص طاقة غير محدودة من الفراغ، وهو ادعاء لم يبرهن عليه للأســـف في أوراقه. في البداية يبدو أن «طاقة النقطة صفر» (أو الطاقة الموجـــودة في الفراغ) تناقض القانون الأول في الثرموديناميـــك. وعلى الرغم من أن طاقة النقطـــة صفر تتحدى قوانين ميكانيكا الكوانتم فقد عادت للظهور أخيرا من منحى جديد.

وعندمـــا حلل العلمـــاء البيانات من أقمـــار اصطناعية تدور حاليا حول الأرض، مثل قمر WMAP، وصلوا إلى النتيجة المدهشة وهي أن 73% من الكون مصنوع من «طاقة سوداء»، وهي طاقة الفراغ الكامل.

وهذا يعني أن أعظم مخزون للطاقة في الكون بكامله هو الفراغ الذي يفصل بين المجرات في الكون (هذه الطاقة السوداء ضخمة جدا بحيث إنها تدفع المجـــرات بعضها عن بعض وقد تمزق الكون في النهاية في تجمد كبير).

الطاقة السوداء موجودة في كل مكان بالكون، حتى في غرفة معيشتك وداخل جســمك. وكمية الطاقة السوداء في الفضاء الخارجي فلكية حقا، بحيث تفوق طاقة النجوم والمجرات مجتمعة. ويمكننا أيضا حســـاب كمية الطاقة الســـوداء على الأرض، وهي كمية ضئيلة وأصغر من أن تســـتخدم لتحريك آلة دائمة الحركة. كان تيســـلا محقا بشأن الطاقة السوداء لكنه كان مخطئا بشأن كميتها في الأرض. أو هل كان كذلك؟

إحـــدى أكثـــر الثغرات إحراجا فـــي الفيزياء الحديثة هـــي أنه لا أحد يمكنه حساب كمية الطاقة الســـوداء التي يمكننا قياسها بواسطة أقمارنا الاصطناعية. ولو استخدمنا النظرية الأخيرة في الفيزياء الذرية لحساب كمية الطاقة الســـوداء في الكون، فسنصل إلى رقم خاطئ بعامل 10^{120}! أي «واحد» متبوع بـ 120 صفرا! وهذا، بما لايقارن، أكبر فارق بين النظرية والتجربة في الفيزياء كلها.

النقطة هي أنه لا أحد يعلم كيف يحسب «طاقة لا شيء». وهذا أحد أهم الأسئلة في الفيزياء (لأنه سيحدد في النهاية مصير الكون) لكننا في الوقت الحالي لا نمتلك أي طريقة لحسابها. ولا يمكن لأي نظرية أن تفسر الطاقة السوداء، على الرغم من أن الدليل على وجودها بالتجربة واضح جدا.

لذا يمتلك الفراغ طاقة كما توقع تيســـلا، لكن كميتها قد تكون صغيرة جدا لاستعمالها كمصدر للطاقة المفيدة. هناك كميات ضخمة من الطاقة الســـوداء بين المجـــرات، لكن الكمية التي يمكن العثـــور عليها على الأرض ضئيلة جدا. الشـــيء المحرج هو أنه لا أحد يعلم كيف يحسب هذه الطاقة، أو من أين تأتي.

إن فكرتي هي أن حفظ الطاقة ينشأ من أسباب كونية عميقة. وسيعني أي اختراق لهذه القوانين بالضرورة تغيرا عميقا في فهمنا لتطور الكون، لذا يجبر سر الطاقة السوداء الفيزيائيين على مواجهة هذا السؤال مباشرة.

ولأن صنع آلة دائمةِ الحركة حقا قد يتطلب منا إعادة تقويم القوانين الأســاس في الفيزياء على المســتوى الكوني، لذا أصنف الآلات دائمة الحركــة على أنها اســتحالة من الصنف الثالث أي إما أنها مســتحيلة فعلا، أو أننا بحاجة لتغيير فهمنا للفيزياء الأساســية بشكل عميق على المستوى الكوني من أجل جعل مثل هذه الآلة،أمرا ممكنا. وتبقى الطاقة السوداء أحد الفصول العظيمة غير المنتهية في العلم الحديث.



15

الاستبصار

«اللغز ما هو إلا حقيقة تقف على رأسها لتجذب الانتباه»

نيكولاس فاليتا

«أظهر فينمان السر الحقيقي لمضاد المادة: إنه مجرد مادة عادية تعود إلى الوراء عبر الزمان»

المؤلف

هل هناك شيء يدعى الاستبصار (Precognition) أو رؤية المستقبل؟ هذا المفهوم القديم موجود في كل دين، منذ عرافي اليونان والرومان إلى أنبياء العهد القديم. لكن يمكن لموهبة النبوءة في مثل هذه الحكايا أن تكون لعنة أيضا. ففي الأسطورة اليونانية هناك قصة كاساندرا، ابنة ملك طروادة. فقد جذبت اهتمام إله الشمس أبولو بجمالها. وللفوز بها منحها أبولو القدرة على رؤية المستقبل. لكن كاسندرا صدّت محاولات أبولو. وفي ثورة غضب، قلب أبولو منحته بحيث تستطيع

كاساندرا رؤية المستقبل من دون أن يصدّقها أحد. وعندما حذرت كاساندرا شعب طروادة من مصيرهم المحتوم، لم يستمع إليها أحد. لقد تنبأت بدسّ حصان طروادة وموت أغاممنون وحتى بمصيرها نفسه، ولكن بدلا من أخذ تحذيراتها على محمل الجد اعتقد أهل طروادة أنها مجنونة وسجنوها.

ادعى نوستراداموس في القرن السادس عشر، وإدغار كيسي أخيرا، أن من الممكن لهما الكشف عن المستقبل. وعلى الرغم من وجود ادعاءات عدة بأن تنبؤاتهما قد تحققت (على سبيل المثال، التنبؤ بالحرب العالمية الثانية واغتيال كندي وسقوط النظام الشيوعي) فإن الطريقة الغامضة والرمزية التي سجّل بها عدد من هؤلاء المتنبئين نبوءاتهم سمحت بتفسيرات متناقضة عدة. على سبيل المثال، فإن رباعيات نوستراداموس عامة جدا بحيث يستطيع المرء قراءة كل شيء تقريبا فيها (وقد فعل الناس ذلك). تنص إحدى الرباعيات على ما يلي:

تهدر نيران تهز الأرض من مركز العالم:
وترجف الأرض حول «المدينة الجديدة»
ويشن نبيلان حربا لا فائدة منها
وستسكب عذارى الجداول نهرا أحمر جديدا.

ادعى البعض أن هذه الرباعية برهنت على أن نوستراداموس تنبأ بحرق برجي نيويورك في 11 سبتمبر عام 2001. ومع ذلك فقد قدم خلال القرون العديد من التفسيرات الأخرى للرباعية نفسها. هذه الصور غامضة جدا بحيث يمكن إعطاء تفسيرات مختلفة لها.

والتنبؤ بالمستقبل وسيلة مفضلة أيضا للمسرحيين الذين يكتبون عن سقوط الملوك ونهاية الإمبراطوريات. في مسرحية ماكبث لشكسبير فإن التنبؤ فكرة محورية للرواية ولطموحات ماكبث الذي يصادف ثلاث ساحرات تتنبأن بصعوده ليصبح ملك اسكوتلندا. وبإشعال طموحاته القاتلة بنبوءة الساحرات، يبدأ ماكبث حملة شرسة للقضاء على أعدائه، بمن فيهم زوجة منافسه ماكدف وأولاده الأبرياء.

وبعد ارتكاب سلسلة من الأعمال الشنيعة للحصول على التاج، يعلم ماكبث من الساحرات أن من غير الممكن هزيمته في المعركة، أو «لن يقضى عليه حتى تأتي غابة بيرنام العظيمة إلى مرتفعات دونسينان لتقاتله»، و«لن يؤذيه أحد يولد من امرأة». ويرتاح ماكبث لهذه النبوءة لأن الغابة لا يمكن لها أن تتحرك، ولأن الرجال جميعهم يولدون من نساء. لكن غابة بيرنام العظيم تتحرك، بينما يتقدم جنود ماكدف الذين يموّهون أنفسهم بشعر مستعار من غابة بيرنام العظيمة نحو ماكبث ويولد ماكدف نفسه بولادة قيصرية.

وعلى الرغم من أن للنبوءات من الماضي تفسيرات عديدة مختلفة، وبالتالي يستحيل اختبارها، فإن من السهل تحليل مجموعة واحدة من النبوءات: التنبؤات بالتاريخ الدقيق لنهاية الأرض - القيامة. ومنذ أن تنبأ الفصل الأخير من الإنجيل بتفاصيل بيانية عن الأيام الأخيرة من عمر الأرض، حيث يصاحب الفوضى والتدمير وصول المسيح الدجال أو المجيء الثاني والنهائي للمسيح، حاول الأصوليون التنبؤ بالموعد الدقيق لنهاية التاريخ.

كانت إحدى أكثر نبوءات القيامة شهرة هو ذلك الذي قام به فلكيون تنبأوا بفيضان عظيم يدمر العالم في 20 فبراير 1524، على أساس تجمّع الكواكب في السماء كلها: عطارد والزهرة والمريخ والمشتري وزحل. اجتاح رعب جماعي أوروبا كلها. وفي إنجلترا، ترك عشرون ألفا بيوتهم وهم في حالة يأس. وبنيت قلعة ملئت بغذاء وماء يكفيان لمدة شهرين حول كنيسة بارثولوميو. وعبر فرنسا وألمانيا، شرع الناس يبنون بحماس سفنا كبيرة لركوب الفيضان. حتى أن الكونت فون أغليهايم بنى سفينة ضخمة مؤلفة من ثلاثة طوابق استعدادا لهذا الحدث الجلل. لكن عندما حان الموعد، هطل مطر خفيف فقط. وفجأة تحول مزاج العامة من الخوف إلى الغضب. وشعر الناس الذين باعوا ممتلكاتهم كلها وقلبت حياتهم رأسا على عقب بالخيانة. وبدأ الجمهور الغاضب بالهيجان. ورجم الكونت حتى الموت، وقتل المئات نتيجة دهس العامة لهم.

لم يكن المسـيحيون وحيدين في إحساسـهم بإغراء النبوءة. ففي عام 1648 أعلن الحاخام شـابتاي تزفاي، وهو ابن يهودي غني من سـميرنا، نفسه بوصفه المسـيح المنتظر وتنبأ بنهاية العالم عام 1666. ولأنه وسيم وذو شـخصية جذابة ومعرفة جيدة بالنصوص السرية للكابالا، فقد جمع حوله وبسـرعة مجموعة من الأتباع المخلصين الذين نشـروا دعوته خلال أوروبـا. وفي عام 1666 بدأ اليهود من فرنسـا وهولندا وألمانيا وهنغاريا بحـزم أمتعتهم واتباع دعوة مسـيحهم المنتظر. لكن فـي نهاية ذاك العام قبض على تزفاي من قبل الصدر الأعظم في إسطنبول وألقي في السجن مقيدا بالسلاسـل. وبمواجهة حكم بالإعدام، خلع تزفـاي ثيابه اليهودية وارتدى قفطانا تركيا، وتحوّل إلى الإسـلام. وبذلك ترك عشـرات الآلاف من أتباعه المخلصين ديانته وهم بخيبة أمل تامة.

ولاتزال نبوءات العرافين تجـد لها صدى هذه الأيام، مؤثرة على حياة عشرات الملايين من الناس حول العالم. وفي الولايات المتحدة، أعلن وليام ميللر أن القيامة سـتأتي في 3 أبريل من عام 1843. ومع انتشـار نبوءته عبر الولايات المتحدة، أنار شهاب عظيم بالمصادفة سماء الليل عام 1833، وهو أحد أكبر الشهب من نوعه، معززا أكثر تأثير نبوءة ميللر.

انتظر عشـرات الآلاف من الأتباع المخلصين المدعوين بالميلريين مجيء هرمغدون (*). وعندما حل عام 1843 ومضى من دون مجيء نهاية التاريخ، انقسمت حركة الميلريين إلى مجموعات ضخمة عدة. وبسبب عدد الأتباع الضخم لكل مجموعة، فإن كلا منها أثر بشكل كبير في الدين حتى اليوم. أعاد جزء ضخم من حركة الميلريين التجمع عام 1863 وغيروا اسمهم إلى كنيسة مجيئيو اليوم السابع(**) التي يبلغ تعداد رعاياها اليوم 14 مليونا. الأمر المحوري في اعتقادهم هو المجيء المتوقع الثاني للسيد المسيح.

انجرفت مجموعة منشقة أخرى من الميلريين بعد ذلك نحو عمل تشارلز تيز راسـل، الذي أخر موعد يوم القيامة إلـى عام 1874. وعندما مضى

(*) هرمجـدون أو أرمغـدون (Armageddon)، هي المعركة الأخيرة بين الخير والشـر، أو بين الله والشيطان، وفقا للمفهوم التوراتي. وجاء اسمها من الموقع المفترض لتلك المعركة وهو هضبة مغيدو أو مجيدو في فلسطين [المحررة].

(**) The Seventh-Day Adventist Church.

ذاك الموعـــد أيضا صحح نبوءته اعتمادا على تحاليل الأهرام العظيمة في مصر، وفي هذه المرة إلى عام 1914. وســـتدعى هذه المجموعة فيما بعد شهود يهوة، ويبلغ عدد أتباعها 6 ملايين شخص.

ومع ذلك اســـتمرت جماعات أخـــرى من الميلريـــين بالتنبؤ بنهاية العالم، وبالتالي أدت إلى انقســـامات أخرى فـــي كل مرة يخطئ فيها أحد هذه التنبؤات. دعيت مجموعة صغيرة منشـــقة من الميلريين بفرع داود، وقد انقســـموا من جماعة مجيئيي اليوم الســـابع في ثلاثينيات القرن الماضي. كانت لديهم كنيســـة صغيرة في واكو/ تكســـاس وقعت تحت نفوذ واعظ شاب ذي شخصية نفاذة يدعى ديفيد كوريش، الذي تكلم بشـــكل مخدر عن نهاية العالم. واجهت هذه المجموعة نهاية قاتلة أثناء اصطدامها المأساوي مع الشرطة الفدرالية عام 1993، وعندما اندلعت النيران في المبنى وأحرقت 76 عضوا، من ضمنهم 27 طفلا، وكوريش معهم.

هل بإمكاننا رؤية المستقبل؟

هل تستطيع اختبارات علمية صارمة أن تبرهن على قدرة بعض الأفراد على رؤية المستقبل؟ لقد رأينا في الفصل الثاني عشر أن السفر عبر الزمن قد يتســـق مع قوانين الفيزياء، لكن بالنسبة إلى حضارة متقدمة من النوع الثالث فقط. لكن هل التنبؤ بالمستقبل ممكن اليوم على الأرض؟

تقتـــرح الاختبارات المفصلة التي أجريت في مركز الراين أن بإمكان بعض الناس رؤية المســـتقبل، أي يمكنهـــم تمييز البطاقات قبل أن يرفع عنهـــا الغطاء. لكن التجارب المكررة أظهرت أن هذا التأثير ضئيل جدا، وغالبا ما يختفي عندما يحاول آخرون إعادة التجارب.

وفـــي الحقيقة، من الصعب التوفيق بين التنبؤ بالمســـتقبل والفيزياء الحديثـــة، لأن هذا يخالف مبدأ الســـببية، أي القانون الذي يربط بين الســـبب والنتيجة. إن النتيجة تحدث بعد الســـبب، وليس العكس. ويقع مبدأ الســـببية في صلب كل قوانين الفيزياء المعروفة حتى الآن. وتؤشر مخالفة الســـببية إلى انهيار كبير لأسس الفيزياء. فالميكانيكا النيوتونية

مؤسسة بقوة على السببية. فقوانين نيوتن شاملة إلى درجة أنك لو علمت مكان الجزيئات جميعها في الكون ووضعها يمكنك حساب حركتها في المستقبل. لذا يمكن حساب المستقبل. وتنص ميكانيكا نيوتن، مبدئيا، على أنه لو كان لديك حاسوب قوي بما يكفي، أمكنك حساب حوادث المستقبل كلها. ووفق نيوتن، فالكون ساعة عملاقة، عُيّرت من قبل الله عند بدء الزمن، وهي تتحرك وتدق منذ ذلك الوقت وفق القوانين التي وضعها. ليس هناك مجال للتنبؤ بالمستقبل وفقا لنظرية نيوتن.

العودة إلى الوراء عبر الزمان

عندما نناقش نظرية ماكسويل، يصبح السيناريو أكثر تعقيدا. وعندما نحل معادلات ماكسويل للضوء، لا نجد حلا واحدا بل حلين: موجة «متأخرة»، تمثل الحركة القياسية للضوء، من نقطة لأخرى، وموجة «متقدمة»، حيث يعود شعاع الضوء إلى الوراء في الزمان. يأتي هذا الحل المتقدم من المستقبل لكنه يصل في الماضي!

ولمئات السنين عندما صادف المهندسون هذا الحل «المتقدم» الذي يعود إلى الوراء في الزمان رفضوه ببساطة على أنه شذوذ رياضي. وبما أن الموجات المتأخرة تنبأت بدقة بتصرف الراديو والموجات الميكروية والتلفاز وأشعة اكس، فإنها ببساطة ألقت بالحل المتقدم من النافذة. كانت الموجات المتأخرة جميلة جدا بحيث تجاهل المهندسون ببساطة توأمها القبيح. لم العبث بالنجاح؟

لكن بالنسبة إلى الفيزيائيين، كانت الموجة المتقدمة مشكلة مقلقة طوال القرن الماضي. وبما أن علاقات ماكسويل تعتبر بين أعمدة العصر الحديث، فإن أي حل لهذه المعادلات يجب أخذه على محمل الجد، حتى لو عنى ذلك قبول موجات من المستقبل. وبدا أن من المستحيل إهمال الموجات المتقدمة كليا من المستقبل. لم تعطنا الطبيعة عند هذا المستوى الأكثر عمقا مثل هذا الحل الغريب؟ هل كانت هذه نكتة سمجة، أو أن هناك معنى أكثر عمقا ؟

بدأ الروحانيــون بالاهتمام بالموجات المتقدمة، مخمنين أنها ســتظهر على شــكل رسائل من المســتقبل. ربما لو استطعنا بطريقة ما تطويع هذه الأمواج، فقد نستطيع إرسال الرسائل نحو الماضي، وبالتالي نحذر الأجيال السابقة من الأحداث التي ستأتي. نستطيع على سبيل المثال إرسال رسالة إلى أجدادنا في عام 1929، نحذرهم فيها ببيع أسهمهم كلها قبل الانهيار الكبير. مثل هذه الأمواج المتقدمة لن تسمح لنا شخصيا بزيارة الماضي كما في السفر عبر الزمان، لكنها تمكننا من إرسال رسائل إلى الماضي لتحذير الناس من الحوادث المهمة التي لمْ تحدث بعد.

كانت هذه الموجات المتقدمة ســرا حتى درسها ريتشارد فينمان، الذي شغلته فكرة العودة إلى الوراء عبر الزمان. وبعد العمل في مشروع مانهاتن، الــذي بنى أول قنبلة ذرية، تــرك فينمان لوس ألمــوس وذهب إلى جامعة برنســتون للعمل تحت رئاسة جون ويلر. وبتحليل عمل ديراك الأصلي على الإلكترون، وجد فينمان شــيئا غريبا جدا. لو عكس ببساطة اتجاه الزمان، فإن معادلة ديراك تبقى نفســها بعكس شــحنة الإلكترون. وبعبارة أخرى، فإلكترون يعود إلى الوراء عبر الزمان هو نفس مضاد إلكترون يســير إلى الأمام عبر الزمان! عادة قد يســتبعد فيزيائي ناضج هذا التفسير ويدعوه مجرد حيلة وشــذوذا رياضيا لا معنــى له. لا يعني الرجوع إلى الوراء عبر الزمان أي شيء، ومع ذلك كانت معادلات ديراك واضحة بالنسبة إلى هذه النقطة. وبعبارة أخرى، وجد فينمان ســبب ســماح الطبيعة للحلول التي تعــود إلى الوراء عبر الزمان: إنها تمثل حركة مضاد المادة. لو كان فينمان فيزيائيا أكبر ســنا فلربما رمى بهذا الحل من النافذة. ولكن لكونه خريجا جديدا، قرر اتباع فضوله أكثر.

وباستمراره في التعمق في المشكلة، لاحظ الشاب فينمان شيئا أغرب. عندما يصطدم إلكترون بمضاد إلكترون فإنهما عادة يقضي أحدهما على الآخر ويطلقان أشــعة غاما. خط فينمان على ورقة : جســمان يصطدما أحدهما بالآخر ليتحولا إلى انفجار للطاقة.

لكن لو عكست شحنة مضاد الإلكترون، فسيصبح إلكترونا عاديا يعود إلى الوراء عبر الزمان. تســتطيع عندها إعادة كتابة الشكل نفسه بأسهم

معكوسة للزمان. ويبدو الآن كأن الإلكترون سار للأمام عبر الزمان ثم قرر فجأة عكس اتجاهه. لقد صنع الإلكترون انعطافا للخلف (u-turn) عبر الزمان وأصبح الآن يعود إلى الوراء عبر الزمان، مطلقا دفعة من الطاقة أثناء هذه العملية. وبعبارة أخرى، إنه الإلكترون ذاته. كانت عملية فناء الإلكترون – مضاد الإلكترون هو الإلكترون نفسه وهو يقرر العودة إلى الوراء عبر الزمان!

ولذا أظهر فينمان السر الحقيقي لمضاد المادة: إنه مجرد مادة عادية تعود إلى الوراء عبر الزمان. لقد شرحت هذه الملاحظة البسيطة فورا معضلة وجود مضاد لكل جسيم: السبب هو أنه يمكن للجسيمات كلها السفر إلى الوراء عبر الزمان، وبالتالي تظهر على أنها مضاد للمادة. (يعادل هذا التفسير «بحر ديراك» الذي ذكر مسبقا، لكنه أبسط، وهو التفسير المقبول حاليا)

دعنا الآن نقل إن لدينا كمية من مضاد المادة ترتطم بمادة عادية خالقة انفجارا ضخما. هناك الآن تريليونات الإلكترونات وتريليونات مضاد الإلكترونات التي يفني بعضها بعضا. لكننا لو عكسنا اتجاه السهم لمضاد الإلكترون، وحولناه إلى إلكترون يعود إلى الوراء في الزمان، فسيعني هذا أن الإلكترون نفسه سيتأرجح جيئة وذهابا تريليون المرات في الزمان.

كانت هناك نتيجة أخرى غريبة: لا بد أن هناك إلكترونا وحيدا فقط في كمية المادة. وهذا الإلكترون هو نفسه الذي يروح جيئة وذهابا في الزمان. وفي كل مرة ينعطف فيها إلى الخلف (u-turn) في الزمان، يتحول إلى مضاد المادة. لكنه لو قام بانعطافة أخرى في الزمان فسيتحول عندها إلى إلكترون آخر.

(خمّن فينمان، بمساعدة مشرفه جون ويلر، أن الكون بكامله قد يتألف من إلكترون واحد فقط يروح جيئة وذهابا في الزمان. تصور أنه من فوضى الانفجار الكبير الأوّلي خلق إلكترون واحد فقط. وبعد تريليونات الأعوام سيصادف هذا الإلكترون الوحيد في النهاية كارثة يوم القيامة، حيث يقوم بانعطافة إلى الخلف (U) ثم يذهب إلى الوراء في الزمان

مطلقا أشعة غاما أثناء ذلك. ثم سيعود إلى الانفجار الكبير الأولي ثم يقوم بانعطافة إلى الخلف مرة أخرى. ثم يذهب الإلكترون برحلات مكوكية متكررة من الانفجار الكبير وحتى القيامة. إن كوننا في القرن الحادي والعشرين هو مجرد شريحة زمنية من رحلة هذا الإلكترون حيث نرى تريليونات الإلكترونات، ومضاد الإلكترونات، أي الكون المرئي. ومهما يبدو من غرابة هذه النظرية، فإنها تفسر حقيقة غريبة في نظرية الكوانتم: لماذا الإلكترونات كلها واحدة. في الفيزياء لا يمكنك تحديد الإلكترونات. ليس هناك إلكترونات خضراء أو إلكترونات جوني. ليس للإلكترونات هوية مستقلة. لا يمكنك «وضع علامة» على إلكترون مثلما يقوم العلماء أحيانا بـ «وضع علامات» على الحيوانات في البرية لدراستها. ربما كان السبب هو أن الكون بكامله يتألف من الإلكترون نفسه الذي يقفز مجيئة وذهابا في الزمان).

لكن لو كان مضاد المادة مجرد مادة عادية تعود إلى الوراء في الزمان، فهل من الممكن إرسال رسالة إلى الماضي؟ هل من الممكن إرسال عدد اليوم من مجلة وول ستريت إليك نفسك في الماضي، بحيث يمكنك القيام بصفقة كبيرة في سوق الأسهم؟

الجواب هو: لا.

لو عاملنا مضاد المادة على أنه مجرد نوع آخر غريب من المادة، وأجرينا بعدها تجربة عليه، فلن تكون هناك اختراقات لمبدأ السببية. فالسبب والنتيجة يبقيان على حالهما. لو قمنا الآن بعكس سهم الزمان لمضاد الإلكترون مرسلين إياه إلى الوراء في الزمان، فإننا عندها نقوم بعملية حسابية فقط. الفيزياء تبقى نفسها. لا شيء قد تغير فيزيائيا. والنتائج التجريبية كلها تبقى على حالها. لذا فمن الصحيح تماما النظر إلى الإلكترون على أنه يروح ويأتي في الزمان. لكنه في كل مرة يعود فيها إلى الوراء في الزمان فإنه ببساطة يحقق الماضي. لذا يبدو أن الحلول المتقدمة من المستقبل ضرورية بالفعل للحصول على نظرية كوانتم متسقة، لكنها في النهاية لا تخترق مبدأ السببية. (في الحقيقة، من دون هذه الموجات المتقدمة الغريبة فستخترق السببية في نظرية

الكوانتــم. لقد أظهر فينمان أننا لو أضفنا مســاهمة الأمواج المتقدمة والمتراجعــة، نجد أن الحدود التي قد تخترق الســببية تلغى تماما. لذا فمضاد المادة ضروري للحفاظ على الســببية. ومن دون مضاد المادة قد تنهار السببية).

اســتمر فينمان في متابعة بذرة فكرته المجنونة حتى أينعت في النهاية إلــى نظرية كوانتم تامة للإلكترون. اختبــرت نظريته في الإلكتروديناميك الكمومــي (QED) حتى جزء مــن 10 مليارات، ممــا يجعلها إحدى أكثر النظريــات دقة في التاريخ. لقد منحته هــذه النظرية، مع زميلين جوليان شفينغر وسين - اتيرو توموناغا، جائزة نوبل للعام 1965.

(فــي خطاب قبــول جائزة نوبل قــال فينمان إنــه وقع في حب هذه الموجات المتقدمة من المســتقبل مذ كان شــابا، كما يقع المرء في حــب فتاة جميلة. واليوم فقد نضجت هذه الفتاة الشــابة إلى امرأة ناضجــة، وهي أم لعدة أطفال. أحد هــؤلاء الأطفال هو نظريته في الإلكتروديناميك الكمومي).

التاكيونات من المستقبل

إضافة للموجات المتقدمة من المســتقبل (التي برهن على فائدتها مرة بعــد أخرى في نظرية الكوانتم) هناك أيضا مبدأ من نظرية الكوانتم يبدو بمثل هــذه الغرابة، لكنه ربما ليس بالفائدة نفســها. هذا المبدأ هو فكرة «التاكيونات» (Tachyons) التي تظهر بشكل متكرر في مسلسل ستار ترك. ففي كل مرة يحتاج فيها كتّاب ستار ترك إلى نوع جديد من الطاقة للقيام بعملية فائقة، فإنهم يثيرون موضوع التاكيونات.

تعيــش التاكيونات في عالم غريب، كل شــيء فيه ينتقل بأســرع من ســرعة الضوء. ومع فقد التاكيونات للطاقة فإنها تســافر أسرع، وهذا يخالف المنطق السليم. وفي الحقيقة لو فقدت الطاقة كلها فإنها ستنتقل بسرعة لا نهائية. ولكن مع اكتسابها للطاقة، فإنها تبطئ حتى تصل إلى سرعة الضوء.

مـــا يجعل التاكيونات غريبـــة جدا هو أن لها كتلة على شـــكل رقم خيالي (نعني بــ «الرقم الخيالي» أن كتلتها ضربـــت بالجذر التربيعي لـ -1 أو «i»). لو أخذنا ببســـاطة معادلة آينشتاين الشهيرة واستبدلنا «m» بـ «im» فإن شـــيئا رائعا ســـيحدث. فجأة ستتســـافر الجسيمات بسرعة أعلى من سرعة الضوء.

تثير هذه النتيجة حالات غريبة. لو سافر تاكيون خلال مادة فإنه يفقد طاقة لأنه يرتطم بالذرات. لكن مع فقده للطاقة، فإنه يسرع، مما يزيد من اصطدامه بالذرات. ويجب أن تســـبب هذه التصادمات فقده لطاقة أكثر، وبالتالي فستســـرعه أكثر. ومع خلق هذه لدائـــرة مغلقة، يحصل التاكيون بشكل طبيعي على سرعة لا متناهية بذاته!

(تختلف التاكيونات عن مضاد المادة والمادة السالبة. فللمادة المضادة طاقة موجبة، وتســـافر بسرعة أقل من سرعة الضوء، ويمكن تصنيعها في مســـرعات الجســـيمات لدينا. وهي تسقط للأســـفل تحت تأثير الجاذبية، بحســـب النظريـــة. ومضاد المادة هو عبـــارة عن مادة عادية تعود إلى الوراء عبر الزمن. أما المادة الســـالبة فهي ذات طاقة سالبة، وتســـافر بسرعة أقل من سرعة الضوء أيضا، لكنها تسقط إلى الأعلى بتأثير الجاذبية. ولم يعثر على المادة السالبة أبدا في المختبر. وبكميات كبيرة، يمكن اســـتخدامها لتحريـــك آلات الزمان. تســـافر التاكيونات بأســـرع من ســـرعة الضوء ولها كتلة خيالية. وليس من الواضح ما إذا كانت تســـقط إلى الأعلى أو الأســـفل بتأثير الجاذبية. ولم يعثر عليها أيضا في المختبر).

ومع غرابة التاكيونات، فقد درســـت بجديـــة من قبل الفيزيائيين، بمن فيهم الراحل جيرالد فاينبرغ من جامعة كولومبيا، وجورج سودارشـــان من جامعة تكســـاس في أوســـتن. المشـــكلة هي أنه لا أحد على الإطلاق رأى التاكيـــون في المختبر. إن البرهان التجريبي الرئيـــس على التاكيونات هو اختراق مبدأ السببية. واقترح فاينبرغ أن يختبر الفيزيائيون شعاعا ليزريا قبل أن يشـــغل. لو كانت التاكيون موجودة، فربما أمكن اكتشاف الضوء من شعاع الليزر حتى قبل أن يشغل الجهاز.

في قصص الخيال العلمي تستخدم التاكيونات بانتظام لإرسال رسائل إلـى الماضي إلى المتنبئين. لكن لو تفحص المرء الفيزياء، فمن غير الواضح إذا كان هذا ممكنا. وعلى سـبيل المثال، اعتقـد فينمان أن إصدار تاكيون يسـير إلى الأمام مع الزمان مطابق لامتصاص تاكيون بطاقة سـالبة يعود للوراء مع الزمان (مشـابه للوضع بالنسبة إلى مضاد المادة)، وبالتالي ليس هناك اختراق للسببية.

وبوضع الخيال العلمي جانبا، فإن التفسـير الحديث للتاكيونات اليوم هو أنها ربمـا وجدت في لحظة الانفجار الكبير مخترقة مبدأ السـببية، لكنها لم تعد موجودة بعد ذلك. وفي الحقيقة، فربما مارست دورا ضروريا فـي جعل الكون «ينفجر» بداية. وبهذا المعنى، فالتاكيونات ضرورية لبعض نظريات الانفجار الكبير.

للتاكيونات خاصة غريبة. عندمـا تضعها في أي نظرية فإنها تخفض اسـتقرارية «الفـراغ»، أي الطاقة الأدنـى لنظام ما. لو امتلـك نظام ما تاكيونات فإنه في «فراغ زائف»، وبذا يكون غير مسـتقر وسـوف يتخافت إلى فراغ حقيقي.

فكر في سـد يحجز الماء خلفه في بحيرة. يمثل هذا «الفراغ الزائف». وعلى الرغم من أن السد يبدو مستقرا تماما فهناك حالة من الطاقة أدنى من السد. لو حدث شق في السد فسيتدفق الماء منه، وسيصل النظام إلى الفراغ الحقيقي مع تدفق الماء نحو مستوى سطح البحر.

وبالطريقـة نفسـها، يعتقد أن الكون بدأ قبل الانفجـار الكبير في حالة فـراغ زائف توجـد فيه تاكيونات. لكن وجود التاكيونـات يعني أن النظام لم يكن في حالة الطاقة الأدنى، وبالتالي فهو غير مسـتقر. ظهر «تمزق» صغير في نسـيج الزمكان يمثل الفراغ الحقيقي. ومع توسع التمزق خرجت فقاعة. وخـارج الفقاعة لاتزال التاكيونات موجـودة، لكنها اختفت كلها داخلها. ومع تمدد الفقاعة وجد الكون الذي تعرفه بدون تاكيونات. إنه الانفجار الكبير.

تدّعـي إحدى النظريات التي أخذت بجدية من قبل علماء الكون أن التاكيون، الذي دعي «التضخم»، هو الذي بدأ العملية الأصلية للتضخم. وكما ذكرنا سابقا، تقول نظرية التضخم إن الكون بدأ على شكل فقاعة

ضئيلة للزمكان ثم خضعت لفترة تضخم. ويعتقد الفيزيائيون أن الكون بدأ في البداية فـــي حالة الفراغ الزائف، حيث كان حقل التضخم على شـــكل تاكيون. لكن وجود التاكيون أزال استقرار الفراغ وشكّل فقاعات صغيـــرة جدا. وداخل إحدى هذه الفقاعات افترض حقل التضخم حالة الفراغ الحقيقي. ثم بدأت هذه الفقاعة تتضخم بســـرعة حتى أصبحت كوكبنا. وداخل كوننا – الفقاعة اختفى التضخم بحيث لا يمكن كشـــفه في الكون. لذا تمثل التاكيونات حالة كمومية غريبة تسير فيها الأجسام بســـرعة أعلى من ســـرعة الضوء، وربما تخترق مبدأ الســـببية. لكنها اختفت منذ زمن بعيد جدا، وربما ولّدت الكون نفسه.

قد يبدو هذا كله تخمينا عاطلا غير قابل للاختبار. لكن ســـتحصل نظرية الفراغ الزائف على اختبارها التجريبي الأول بدءا من عام 2006، عندما يعمل مصادم هاردون الكبير خارج جينيف في سويسرا. إن أحد أهداف المصادم (LHC) الرئيسة هي إيجاد «بوزون هيغز» وهو الجسيم الأخير في النموذج القياسي، والذي لايزال ينتظر العثور عليه. إنه آخر جزء في الأحجية. (جسيم هيغز مهم جدا، لكن يصعب الحصول عليه، بحيث دعاه حامل جائزة نوبل ليون ليديرمان «جسيم الإله») (*).

يعتقد الفيزيائيون أن جســـيم هيغز بدأ أولا على شكل تاكيون. وفي الفراغ الزائف ليســـت هناك كتلة لأي جســـيم تحـــت ذري. لكن وجوده أزال اســـتقرار الفـــراغ ونقل الكون إلى فراغ جديـــد، حيث تحول بوزون هيغز إلى جسيم عادي. وبعد التحول من تاكيون إلى جسيم عادي بدأت الجســـيمات تحت الذرية بامتلاك كتل نســـتطيع قياســـها في المختبر. وبالتالي، فاكتشاف بوزون هيغز لن يكمل آخر قطعة مفقودة في النموذج القياسي فقط، لكنه سيثبت أيضا حالة التاكيون التي وجدت مرة، لكنها تحولت إلى جسيم عادي.

باختصار، فالتنبؤ بالمســـتقبل مســـتبعد في فيزياء نيوتـــن. القاعدة الحديدية التي تصل بين السبب والنتيجة لا تخترق. وفي نظرية الكوانتم مـــن الممكن وجود حالات جديدة للمادة، مثـــل مضاد المادة المرتبط بمادة

(*) انظر الهامش ص 272 في الفصل الثالث عشر [المحررة].

تسير إلى الأمام في الزمان لكن مبدأ السببية غير مخترق. وفي الحقيقة فإن مضاد المادة ضروري لاستعادة السببية في نظرية الكوانتم. ويبدو لأول وهلة أن التاكيونات تخترق السببية، لكن الفيزيائيين يعتقدون أن وظيفتها الحقيقية هي إطلاق الانفجار الكبير، وبالتالي لا يمكن ملاحظتها في أي مكان.

وبالتالي يبدو أن الاستبصار (التنبؤ بالمستقبل) مستبعد، على الأقل في المستقبل المنظور، مما يجعله استحالة من الصنف الثالث. ولو برهن على التنبؤ بالمستقبل بتجارب قابلة للتكرار، فإنه سيحدث اهتزازا رئيسا في أسس الفيزياء الحديثة.



خاتمة

مستقبل المستحيل

«لا شـــيء كبيـــر جـــدا أو مجنون جدا بحيث لا تشعر واحدة من ملايين الجمعيات التقنية بنفسها مدفوعة لإجرائه، شرط أن يكون ممكنا فيزيائيا».

فريمان دايسون

«القـــدر ليس مســـألة مصادفة - إنه مســـألة خيار. إنه ليس شيئا ينتظر - بل هو شـيء يجب تحقيقه»

وليام جينغز برايان

«لسنا عند نهاية الفيزياء الجديدة، بل في بداياتها»

المؤلف

هل هناك حقائق ستكون خارج نطاق إدراكنا إلى الأبد؟ هل هناك حقول للمعرفة خارج قدرات حتى الحضـــارة المتقدمة؟ من بين التقانات التي حللتها حتـــى الآن، تقع رؤية المســـتقبل والآلات دائمـــة الحركة فقـــط في تصنيف اســـتحالات من الصنـــف الثالث. هل هنـــاك تقانات أخرى مستحيلة بالقدر ذاته أيضا؟

تظهر الرياضيات البحتة الشائعة في النظريات أن بعض الأشياء مستحيلة حقا. ومثال بسيط هو أن من المستحيل تقسيم الزاوية إلى ثلاثة أقسام باستخدام المسطرة والفرجار؛ وقد برهن على هذا عام 1837.

وحتى في أنظمة بسيطة مثل الحساب هناك استحالات. وكما ذكرت سابقا، من المستحيل البرهان على المقولات الصحيحة في علم الحساب جميعها ضمن بديهيات الحساب نفسها. إن علم الحساب غير مكتمل. وهناك دوما مقولات صحيحة في الحساب يمكن البرهان عليها فقط لو تحول الشخص إلى نظام أكبر بكثير يشمل علم الحساب كفرع منه.

وعلى الرغم من أن بعض الأمور في الرياضيات مستحيلة، فمن الخطر دوما الإعلان بأن أمرا ما مستحيل تماما في العلوم الفيزيائية. دعني أذكرك بخطاب قدّمه حامل جائزة نوبل ألبرت مايكلسون عام 1894 على شرف مختبر ريرسون الفيزيائي في جامعة شيكاغو، وأعلن فيه أن من المستحيل اكتشاف أي فيزياء جديدة: «اكتشفت أكثر القوانين أهمية في علم الفيزياء، وهي الآن مؤسسة بشكل أكيد، بحيث إن احتمال تبديلها لمصلحة اكتشافات جديدة مستبعد للغاية... يجب البحث عن اكتشافاتنا في المستقبل في الرقم السادس بعد الفاصلة».

قيلت ملاحظاته عشية بعض أعظم الثورات في تاريخ العلم، وهي ثورة الكوانتم عام 1900، والثورة النسبية عام 1905. إن النقطة المهمة هنا هي أن الأشياء المستحيلة اليوم تخترق قوانين الفيزياء، لكن هذه القوانين كما نعرفها اليوم يمكن أن تتغير.

في عام 1825 أعلن الفيلسوف الفرنسي العظيم أوغست كونت بمقالاته في مجلة «مسير الفلسفة» (Cours de Philosophie) أن من المستحيل على العلم أن يحدد مادة النجوم. لقد بدا ذلك مثل رهان آمن في ذلك الوقت، حيث لم يعرف شيء حول طبيعة النجوم. كانت النجوم بعيدة جدا بحيث كان من المستحيل زيارتها. ومع ذلك أعلن فيزيائيون (مستخدمين مقياس الطيف) بعد سنوات قليلة من مقولته أن الشمس

مصنوعة من الهيدروجين. في الحقيقة، نعلم الآن أنه بتحليل خطوط الطيف من النجوم التي صدرت منذ بلايين السنين من الممكن تحديد الطبيعة الكيميائية لمعظم الكون.

تحدى كونت عالم العلم بوضع قائمة من «الاستحالات» الأخرى:

- ادّعى كونت أن «الطبيعة النهائية للمادة لا بد أن تبقى فوق حدود معرفتنا دوما». وبعبارة أخرى، من المستحيل معرفة الطبيعة الحقيقية للمادة.
- اعتقد أنه لن يمكنُ أبدا استعمال الرياضيات لشرح عالم الأحياء والكيمياء. ومن المستحيل، كما ادعى، اختزال هذه العلوم إلى رياضيات.
- اعتقد أن من المستحيل أن يكون لدراسة الأجسام السماوية أي تأثير على شؤون البشر.

كان من المعقول اقتراح هذه «الاستحالات» في القرن التاسع عشر، لأن القليل جدا من العلوم كان معروفا آنذاك. لا شيء تقريبا كان معروفا حول أسرار المادة والحياة. لكننا اليوم نمتلك النظرية الذرية التي فتحت حقلا جديدا بأكمله من البحث العلمي في بنية المادة. ونعلم اليوم حول جزيء الدنا ونظرية الكوانتم التي كشفت عن أسرار الكيمياء والحياة. ونعلم أيضا عن تأثيرات الشهب من الفضاء، والتي لم تؤثر في مجرى الحياة على الأرض فقط، لكنها ساعدت في تكوين وجودها ذاته.

ويلاحظ الفلكي جون بارو: «سيجادل المؤرخون[1] في أن آراء كونت قد تكون مسؤولة جزئيا عن الانحدار الذي تلا ذلك في العلم الفرنسي». وكتب الرياضي ديفيد هيلبرت في رفضه لادعاءات كونت[2]: «إن السبب الحقيقي، برأيي، لعدم عثور كونت على مسألة لا تحل يقع في حقيقة أنه لا يوجد شيء يدعى مسألة غير قابلة للحل».

لكن يثير بعض العلماء اليوم مجموعة جديدة من الاستحالات: لن نعرف أبدا ما الذي حدث قبل الانفجار الكبير (أو لماذا «انفجر» في المقام الأول). ولن نحقق أبدا «نظرية كل شيء».

علّق الفيزيائي جون ويلر على «الاستحالة» الأولى عندما كتب: «منذ مائتي عام، كان مكنك سؤال أي شخص[3]: «هل يمكننا يوما ما أن نفهم كيف أتت الحياة؟» وسوف يجيبك: «غير معقول! غير ممكن!» وأشعر بالشيء نفسه حول السؤال: «هل سنفهم يوما ما كيف جاء الكون؟»».

ويضيف الفلكي جون بارو: «إن سرعة الضوء محدودة، وكذلك معرفتنا ببنية الكون. لا يمكننا أن نعرف ما إذا كان محدودا أو لامتناهيا، وما إذا كانت له بداية أو ستكون له نهاية، وفيما إذا كانت بنية الفيزياء هي نفسها في أي مكان، أو فيما إذا كان الكون في النهاية مكانا مرتبا أو من دون ترتيب... لقد بدا أن الأسئلة الكبيرة كلها حول طبيعة الكون - من بدايته إلى نهايته - لا جواب لها [4].

إن بارو محق بقوله إننا لن نعلم أبدا بثقة مطلقة الطبيعة الحقيقية للكون في عظمته كلها. لكن من الممكن أن نقلّص تدريجيا من هذه الأسئلة الخالدة ونقترب كثيرا من الأجوبة. وبدلا من تمثيل الحدود المطلقة لمعرفتنا، ربما كان من الأفضل رؤية هذه «الاستحالات» على أنها تحديات تنتظر الجيل التالي من العلماء. هذه الحدود هي بمنزلة قشرة فطيرة، تصنع لتكسر.

اكتشاف حقبة ما قبل الانفجار الكبير

بالنسبة إلى الانفجار الكبير، يصنّع جيل جديد من الحساسات التي يمكنها حل بعض الأسئلة الدائمة. يمكن لحساسات الإشعاع في الفضاء الخارجي اليوم أن تقيس فقط الإشعاع الميكروي الذي صدر منذ 300 ألف سنة بعد الانفجار الكبير عندما تشكلت الذرات الأولى. ومن المستحيل استخدام هذا الإشعاع الميكروي للاستكشاف إلى فترة أبكر من 300 ألف سنة بعد الانفجار الكبير، لأن الإشعاع من كرة النار الأولية كان حارا جدا وعشوائيا ليعطي أي معلومات مفيدة.

لكن لو حللنا أنواعا أخرى من الإشعاع، فقد نتمكن من الاقتراب أكثر من الانفجار الكبير. يمكن لتقفي النيوترينو، على سبيل المثال، أن يقرّبنا أكثر من لحظة الانفجار الكبير (تهرب النيوترينوات بسرعة بحيث إنها

يمكن أن تسـافر عبر نظام شمسي مصنوع من الرصاص الصلب بأكمله)، يمكن لإشعاع النيوترينو أن يأخذنا إلى ثوان عدة بعد الانفجار الكبير.

لكن ربما كشف السـر النهائي وراء الانفجار الكبير بتفحص «موجات الجاذبيـة»، وهي موجات تتحرك على طول نسـيج الزمـكان. وكما يقول الفيزيائـي روكي كولـب من جامعة شـيكاغو «بقيـاس خصائص خلفية النيوترينو، نسـتطيع النظر إلى 1 ثانية قبل الانفجار الكبير. لكن موجات الجاذبيـة مـن منطقة التضخم هـي بقايا الكون [5] بعـد 10^{33} ثانية من الانفجار الكبير».

أول مـن تنبأ بموجات الجاذبية هو آينشـتاين عام 1916، وقد تصبح في النهاية أهم أداة اختبار في علم الفلك. وتاريخيا، كلما طوّع نوع جديد من الإشـعاع فتحت حقبة جديدة في علم الفلك. كان الضوء المرئي الذي اسـتخدمه غاليليو لتفحص النظام الشمسي الشـكل الأول من الإشعاع. وكانت أشـعة الراديو التي مكّنتنا في النهايـة من تفحص مراكز المجرات لاكتشاف الثقوب السوداء الشـكل الثاني من الإشعاع. وقد تكشف أجهزة تحسس موجات الجاذبية اسرار الخلق نفسه.

مـن أحد الوجوه، لا بد من وجـود موجات الجاذبية. ولرؤية هذا، فكر في السـؤال القديم: ما الذي يحدث لو أن الشمس اختفت فجأة؟ بحسب نيوتن، سنشـعر بالتأثيرات فورا. سـوف ترمى الأرض بعيدا عن محورها وتغمر فـي ظلام دامس. ويعود هذا إلى أن قانـون نيوتن في الجاذبية لا يأخذ السـرعة بعين الاعتبار، وبالتالي تعمل القوى فورا خلال الكون. لكن بحسـب آينشتاين، لا شيء يمكنه السير أسـرع من الضوء، ولذا يستغرق الأمـر ثماني دقائق لكي تصل المعلومة حول اختفاء الشـمس إلى الأرض. وبعبارة أخرى سـتبرز «موجة صدم» جاذبية كروية من الشـمس، وتضرب الأرض فـي النهاية. وخارج هذه الكرة من موجات الجاذبية، سـيبدو كأن الشـمس ماتزال مشعة بشـكل عادي. لأن المعلومات حول اختفاء الشمس لـن تصل إلى الأرض. لكن داخل هذه الكرة من موجات الجاذبية سـتكون الشمس قد اختفت مسبقا مع سير موجة الصدم المتمددة لموجات الجاذبية بسرعة الضوء.

الطريقة الأخرى لرؤية لماذا يجب أن توجد موجات الجاذبية هي تصور غطاء سرير كبير. ووفق آينشتاين فالزمكان عبارة عن نسيج يمكن لفه أو مده مثل غطاء سرير محني. لو مسكنا غطاء سرير وهززناه بسرعة نرى أن الأمواج تتموج على امتداد سطحه، وتسافر بسرعة محددة. بالطريقة نفسها، يمكن رؤية موجات الجاذبية على شكل موجات تسافر على طول نسيج الزمكان.

إن موجات الجاذبية هي بين أسرع المواضيع حركة في الفيزياء اليوم. وفي عام 2003 شغلت كاشفات أمواج الجاذبية الكبيرة الأولى- دعيت ليغو LIGO (مراقبة موجات الجاذبية بمقياس الليزر)(*)، تقيس 2.5 ميل طولا، حيث يوجد الأول في هانفورد واشنطن والآخر في ليفينغستون باريش في لويزيانا. ويؤمل أن يستطيع LGIO، بتكلفة 365 مليون دولار، اكتشاف الإشعاع من اصطدام النجوم النيوترونية والثقوب السوداء.

وستحدث القفزة الكبيرة التالية عام 2015، عندما يطلق جيل جديد من الأقمار الصناعية ليحلل إشعاع الجاذبية في الفضاء الخارجي من لحظة الخلق. وسترسل الأقمار الصناعية الثلاثة التي تؤلف «ليسا» (LISA) (هوائي مقياس التداخل الليزري) (**)، وهو مشروع مشترك من وكالة الفضاء الأوروبية ووكالة ناسا إلى مدار حول الشمس. وستستطيع هذه الأقمار اكتشاف موجات الجاذبية التي أطلقت في أقل من واحد إلى تريليون ثانية بعد الانفجار الكبير. ولو ضربت موجة جاذبية واحدة من الانفجار الكبير ماتزال تدور حول الكون أحد هذه الأقمار، فإنها ستؤثر في الأشعة الليزرية، ومن الممكن قياس هذا التأثير بطريقة دقيقة تعطينا «صورا وليدة» عن لحظة نشوء الخلق نفسها.

تتألف LISA من ثلاثة أقمار صناعية تدور حول الشمس، مرتبة على شكل مثلث، يتصل كل منها بأشعة ليزرية بطول 3 ملايين ميل مما يجعلها أكبر جهاز علمي خلق حتى الآن. وسيدور هذا النظام المؤلف من ثلاثة أقمار صناعية حول الشمس على بعد نحو 30 مليون ميل عن الأرض.

(*) Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory.

(**) Laser Interferometer Space Antenna.

سيصدر كل قمر صناعي شعاعا ليزريا بقدرة نصف وات فقط. وبمقارنة الأشعة الليزرية الآتية من الأقمار الصناعية الأخرى، يمكن لكل قمر صناعي أن يشكل نموذجا لتداخل الضوء. لو أثرت موجة جاذبية في الأشعة الليزرية فسوف تغير نموذج تداخل الضوء، وسيستطيع القمر الصنعي اكتشاف هذا التأثير. (لا تسبب موجة الجاذبية اهتزاز الأقمار الصناعية. إنها في الحقيقة تخلق تشوها في المكان بين الأقمار الثلاثة).

على الرغم من أن الأشعة الليزرية ضعيفة جدا، فإن دقتها ستكون مدهشة. وسوف تستطيع اكتشاف اهتزازات إلى أقل من واحد إلى مليار التريليون، مما يعادل انزياحا بمقدار 100/1 من حجم الذرة. وسيستطيع كل شعاع ليزري أن يكتشف موجة جاذبية من مسافة 9 مليارات سنة ضوئية، وهذا يغطّي معظم الكون المرئي.

تمتلك LISA الحساسية التي قد تمكنها من التفريق بين عدة سيناريوهات «ما قبل الانفجار الكبير». إن أحد أسخن المواضيع في الفيزياء النظرية اليوم هو حساب خواص الكون قبل الانفجار الكبير. ويمكن للتضخم حاليا أن يصف جيدا كيف تطور الكون منذ لحظة الانفجار الكبير. لكن التضخم لا يمكنه تفسير حدوث الانفجار الكبير في المقام الأول. ويهدف المشروع إلى استخدام هذه النماذج التخمينية لحقبة ما قبل الانفجار الكبير لحساب إشعاع الجاذبية الصادر عن الانفجار الكبير. وتقدم كل نظرية ما قبل الانفجار تنبؤات مختلفة عن الأخرى. فإشعاع الانفجار الكبير الذي تتنبأ به نظرية التصادم الكبير (Big Splat) على سبيل المثال تختلف عن الإشعاع الذي تتنبأ به بعض نظريات التضخم، لذا قد تستطيع LISA أن تستبعد عددا من هذه النظريات. ومن الواضح أنه لا يمكن اختبار نماذج ما قبل الانفجار الكبير مباشرة، لأنها تشمل فهم الكون قبل خلق الزمن، نفسه لكننا يمكن اختبارها بشكل غير مباشر، لأن كلا من هذه النظريات تتنبأ بطيف إشعاع مختلف ينطلق بعد ذلك من الانفجار الكبير.

يكتب الفيزيائي ريب ثورن: «ستكتشف موجات الجاذبية من منفردة الانفجار الكبير بين عام 2008 و2030. تتلوها فترة تمتد حتى 2050 على الأقل... وستظهر هذه الجهود تفاصيل دقيقة حول منفردة الانفجار الكبير[6]، وبالتالي ستحقق أن نسخة ما من نظرية الأوتار الفائقة هي نظرية الكوانتم الصحيحة للجاذبية».

لو لم تستطع LISA التفريق بين نظريات ما قبل الانفجار الكبير المختلفة، فقد يستطيع مراقب الانفجار الكبير (BBO) (*) الذي يليها فعل ذلك. ستستطيع الـ BBO مسح الكون بكامله للأنظمة الثنائية كلها التي تشمل النجوم النيوترونية والثقوب السوداء بكتلة أقل ألف مرة من كتلة الشمس. لكن هدفها الرئيس هو تحليل موجات الجاذبية التي صدرت خلال مرحلة التضخم في الانفجار الكبير. وبهذا المعنى صممت الـ BBO تحديدا لاختبار تنبؤات نظرية التضخم في الانفجار الكبير.

تشبه الـ BBO إلى حد ما LISA في تصميمها. وستتألف من ثلاثة أقمار صنعية تتحرك بعضها مع بعض في مدار حول الشمس مفصولة بعضها عن بعض بـ 50 ألف كيلو متر (ستكون هذه الأقمار أقرب بكثير من بعضه من بعض من أقمار LISA)، وسيستطيع كل قمر صناعي قذف شعاع ليزري بقدرة 300 وات. وستستطيع الـ BBO فحص ترددات موجة الجاذبية بين الـ LIGO والـ LISA مالئة ثغرة مهمة. (يمكن لـ LISA أن تكتشف أمواج جاذبية بتردد من 10 إلى 3000 هرتز، بينما يمكن لـ LIGO أن يكتشف أمواج جاذبية بتردد 10 ميكرو هرتز إلى 10 ميللي هيرتز. وستكون BBO قادرة على اكتشاف ترددات تتضمن المجالين كلاهما).

يكتب ثورن: «بحلول عام 2040 سنكون قد استعملنا هذه القوانين (الجاذبية الكمومية) لإنتاج أجوبة موثوقة عن عدد من الأسئلة العميقة والمحيرة. بما فيها... ماذا قبل منفردة الانفجار الكبير، أو هل كان هناك شيء مثل «قبل»؟ هل هناك أكوان أخرى؟ وإذا كان الأمر كذلك، فما هي

(*) Big Bang Observer.

علاقتها أو صلتها بكوكبنا؟ هل تسمح قوانين الفيزياء بحضارات متطورة جدا [7] لخلق الثقوب الدودية اللازمة للسفر إلى النجوم، ولخلق آلات الزمن للسفر إلى الوراء عبر الزمن، والحفاظ عليها؟».

النقطة هي أنه يجب أن يكون هناك في العقود القليلة القادمة بيانات كافية تأتي من حساسات موجات الجاذبية في الفضاء للتفريق بين نظريات ما قبل الانفجار المختلفة.

نهاية الكون

سأل الشاعر تي.أس إليوت السؤال التالي: هل سيموت الكون بانفجار أو بأنين؟ وسأل روبرت فروست: هل سنفنى في نار أو في جليد؟ ويشير آخر دليل إلى موت الكون في تجمد كبير، حيث ستصل درجات الحرارة إلى الصفر المطلق تقريبا، وستفنى أنواع الحياة الذكية جميعها. لكن هل نحن متأكدون؟

أثار البعض سؤالا «مستحيلا» آخر. فهم يسألون: كيف لنا أن نعرف على الإطلاق مصير الكون وهو على بعد تريليون تريليونات السنين في المستقبل؟ يعتقد العلماء أن «الطاقة السوداء» أو طاقة الفراغ تدفع المجرات بعيدا بعضها عن بعض، بمعدل متزايد، بحيث يبدو الكون في حالة انفلات. وسيبرد مثل هذا التمدد درجة حرارة الكون ليقود في النهاية إلى التجمد الكبير. ولكن هل هذا التمدد مؤقت؟ ألا يمكن أن يعكس نفسه في المستقبل؟

وعلى سبيل المثال، في سيناريو التصادم الكبير، حيث يصطدم غشاءان ليخلقا الكون، يبدو كأن الغشاءين يمكنهما أن يصطدما من حين إلى آخر. ولو كان الأمر كذلك فإن التمدد الذي يبدو أنه يقود إلى تجمد كبير حالة مؤقتة ستعكس نفسها.

إن الطاقة السوداء هي التي تدفع تسارع الأكوان الحالي، والذي بدوره ربما نتج عن «الثابت الكوني». لذا فالمفتاح هو فهم الثابت الغامض أو طاقة الفراغ. هل يتغير الثابت مع الزمن، أو هل هو ثابت حقا؟ في الوقت الحاضر لا أحد يعلم بالتأكيد. نعلم من القمر الصنعي WMAP الذي

يدور حاليا حول الأرض أن الثابت الكوني يبدو أنه يدفع التسارع الحالي للثابت الكوني، لكننا لا نعلم إذا كان ذلك دائما أم لا.

هذه المشكلة قديمة، وتعود إلى عام 1916، عندما أدخل آينشتاين لأول مرة الثابت الكوني. وفي السنة السابقة مباشرة بعد اقتراح النسبية العامة، استنتج التأثيرات الكونية لنظريته. ولدهشته وجد أن الكون ديناميكي، أي أنه إما يتمدد أو يتقلص. لكن بدا أن هذه الفكرة تناقض البيانات.

كان آينشتاين يعالج معضلة بينتلي التي حيّرت نيوتن من قبله. ففي عام 1692، كتب القس ريتشارد بينتلي رسالة بريئة تحتوي على سؤال خطير. لو أن الجاذبية تجذب دوما للأسفل، لماذا لا ينهار الكون بكامله؟ لو تألف الكون من عدد محدد من النجوم التي تجذب بعضها بعضا فلا بد لها أن تتكتل ولا بد أن ينهار الكون على شكل كرة نارية! قلق نيوتن جدا من هذه الرسالة لأنها أشارت إلى خطأ أساسي في نظريته في الجاذبية: أي نظرية جاذبة في الجاذبية هي غير مستقرة داخليا. لا بد أن تنهار أي مجموعة محدودة من النجوم حتما تحت تأثير جاذبيتها.

رد نيوتن بأن الطريقة الوحيدة لخلق كون مستقر هي وجود مجموعة لا محدودة ومتجانسة من النجوم، حيث يجذب كل نجم في الاتجاهات جميعها فتلغي القوى بعضها بعضا. كان هذا حلا ذكيا بما يكفي لكن نيوتن كان من الذكاء بحيث إنه أدرك أن هذا الاستقرار خادع. فمثل بيت من أوراق اللعب، يؤدي أي اهتزاز إلى انهيار الأوراق جميعها. لقد كان شبه مستقر، أي أنه كان مستقرا بشكل مؤقت بحيث يسبب أصغر اضطراب انهياره. واستنتج نيوتن أن الله ضروري ليدفع النجوم دفعة بسيطة من حين لآخر، بحيث لا ينهار الكون.

بعبارة أخرى، رأى نيوتن الكون على أنه ساعة ضخمة قام الله في بداية الزمان بتشغيلها وتركها تعمل من ذاتها بحسب قوانين نيوتن. إنها تدور بانتظام منذ ذلك الوقت دون أي تدخل إلهي. لكن كما يرى نيوتن، فالله ضروري لكي يضبط حركة النجوم من حين لآخر، بحيث لا ينهار الكون على شكل كرة نارية.

عندمـــا تعثر آينشـــتاين بمعضلة بينتلي عـــام 1916، أخبرته معادلاته بشـــكل صحيح أن الكون متحرك أو ديناميكـــي - أي إما أنه يتمدد أو أنه يتقلص - وأن كونا ســـاكنا غير مستقر سينهار تحت تأثير الجاذبية. لكن الفلكيين أصروا في ذلك الوقت على أن الكون ساكن ولا يتغير. لذا انحنى آينشـــتاين لملاحظـــات الفلكيين وأضاف الثابت الكونـــي، وهو قوة مضادة للجاذبيـــة تدفع النجوم بعضهـــا عن بعض لتوازن ســـحب الجاذبية الذي يســـبب انهيار الكون. (ارتبطت القوة المضـــادة للجاذبية بالطاقة الموجودة ضمـــن الفـــراغ. في هذه الصورة فـــإن الفراغ الكبير فـــي الفضاء يحتوي كميـــات كبيرة من الطاقـــة غير المرئية). ويجب اختيار هـــذا الثابت بدقة كبيرة من أجل إلغاء قوة جذب الجاذبية.

وبعـــد ذلك، عندما بيّن أدوين هابـــل عام 1929 أن الكون في الحقيقة يتمدد، قال آينشـــتاين إن ثابته الكوني «أكبر خطأ» ارتكبه في حياته. لكن يبدو الآن بعد سبعين عاما كأن «خطأ» آينشتاين، وهو الثابت الكوني يمكن في الحقيقة أن يكون أكبر مصدر للطاقة في الكون، مشـــكلا 73 في المائة من مادة - طاقة الكون، جميعها. (بالمقابل، تشكّل المواد الأعلى التي تتألف منها أجسامنا حوالي 03 في المائة فقط من الكون). ومن المحتمل أن يقرر خطأ آينشتاين المصير النهائي للكون.

لكن مـــن أين يأتي هذا الثابـــت الكوني؟ في الوقـــت الحاضر لا أحد يعلـــم. ربما كانت قوة مضـــاد الجاذبية في بداية الزمـــن كبيرة بما يكفي لتجعل الكون يتضخم مســـببة الانفجار الكبير. ثم اختفت فجأة لأســـباب غيـــر معروفة. (بقي الكون يتمدد خلال هذه الفترة لكن بســـرعة اقل). ثم بعد حوالي ثمانية مليارات ســـنة بعد الانفجار الكبير ظهرت القوة المضادة للجاذبيـــة مرة أخرى مســـببة ابتعاد المجرات عن بعضها بعضا، ومســـببة تسارع الكون مرة أخرى.

لذا، هل من «المســـتحيل» تقريـــر المصير النهائي للكـــون؟ ربما لا. يعتقد معظـــم الفيزيائيين أن التأثيـــرات الكمومية تحدد في النهايـــة حجم الثابت الكوني. تظهر حســـابات بسيطة باستخدام نسخة بدائية من نظرية الكوانتم أن الثابت الكوني بعيد بعامل 10^{120}. ويشكل هذا أكبر فارق في تاريخ العلم.

لكــن هنــاك أيضا توافقا بــين الفيزيائيين على أن هــذا الفارق يعني ببســاطة أننــا بحاجة إلى نظرية في الجاذبيــة الكمومية. وبما أن الثابت الكوني ينجم عن تصحيحات كمومية، فمن الضروري الحصول على نظرية لكل شيء – نظرية ستسمح لنا بحساب ليس النموذج القياسي فقط، ولكن أيضا قيمة الثابت الكوني الذي سيحدد المصير النهائي للكون.

لذا فإن نظرية كل شــيء ضرورية لتحديــد المصير النهائي للكون، لكن بعض الفيزيائيين يعتقدون أن من المســتحيل الحصول على نظرية «كل شيء».

نظرية «كل شيء»؟

كما ذكرت مســبقا، فإن نظرية الأوتار الفائقة هي المرشــح الرئيس لـ «نظرية كل شــيء»، ومع ذلك، هناك فريقــان متعارضان حول ادعاء نظريــة الأوتار الفائقة. من جهة، يكتب ماكس تيغمارك بروفيســور الـ MIT: «أعتقــد أن بإمكانــك في عام 2056 شــراء قميص رياضي [8] تطبع عليه معادلات تصف القوانين الفيزيائية الموحدة للكون». من جهة أخــرى برزت مجموعة من النقاد الذيــن يدّعون أنه ما زال على نظرية الأوتار الفائقة أن تقدم المزيد. ويقول البعض إنه مهما كان عدد المقالات المثيــرة أو برامج التلفزيون الوثائقية التي تنتج ما يتعلق بنظرية الأوتار، فما زال عليها أن تنتج حقيقة واحدة قابلة للاختبار. ويدّعي النقاد أنها نظرية «لا شيء» بدل أن تكون نظرية «كل شيء». واشتد الجدل بصورة كبيرة حولها عام 2002، عندما تحول ستيفن هوكنغ إلى الطرف المقابل متذكــرا نظرية «عدم الكمــال» ليقول إن نظرية «كل شــيء» قد تكون مستحيلة رياضيا.

ليس من المســتغرب أن يثير النقاش حول نظرية كل شــيء الفيزيائي ضــد فيزيائي آخر لأن الهدف منها كبير جدا إن لم يكن مســتحيلا. لقد أثار المجهود لتوحيد قوانين الطبيعة الفلاســفة والفيزيائيين على الســواء منذ ألف عام. قال سقراط نفسه مرة: «بدا لي شيئا مبالغا فيه – أن أعلم تفسير كل شيء، لماذا وجد ولماذا يموت ولماذا هو كذلك؟».

يعود أول اقتراح جدي نظرية «كل شيء» إلى حوالي 500 سنة ق.م، عندما منح الفيثاغوريون اليونان شــرف فك رموز القوانين الرياضية للموســيقى. وبتحليــل العقد الموســيقية واهتزازات وتر القيثارة أظهروا أن الموســيقى تطيع بشــكل ملحوظ الرياضيات البســيطة. لقد خمّنوا بعدها أنه يمكن تفسير الطبيعة كلها بحسب تناغم وتر قيثارة. (تعيد نظرية الأوتار الفائقة بشكل ما حلم الفيثاغوريين).

في العصور الحديثة جرب عمالقة الفيزياء في القرن العشــرين كلهم تقريبــا حظوظهم لإيجاد نظرية موحدة. ولكن كما قال فريمان دايســون: «فإن أرض الفيزياء مليئة بجثث النظريات الموحدة».

في عام 1928 أبرزت جريدة نيويورك تايمز العناوين العريضة المثيرة: «آينشتاين على وشك اكتشاف عظيم؛ ويكره اقتحام عزلته». ساعدت هذه الأخبار على إثارة حمى اعلامية حول نظرية «كل شيء» ارتفعت إلى درجة حادة. أعلنت العناوين: «يستغرب آينشتاين الإثارة حول النظرية. وهو يمنع 100 صحافي من الاقتراب منه لمدة أسبوع». احتشد عدد من الصحافيين حول منزله في برلين، متيقظين، منتظرين التقاط لمحة من العبقري والفوز بالعناوين العريضة. وأجبر آينشتاين على الاختباء.

كتــب الفلكــي آرثر ادينغتــون إلى آينشــتاين: «قد يســرك معرفة أن أحد أســواقنا الكبرى في لندن (ســيلفريدج) ألصــق ورقتك على نافذته (الصفحات الســت التي ألصقت إلى جانب بعضها بعضا) بحيث يستطيع المــارة أن يقرأوها كلها. وقد تجمع جمهور كبير ليقرأها «(اقترح ادينغتون عام 1923 نظريته الموحّدة التي عمل عليها من دون كلل طيلة حياته حتى توفي العام 1944).

وفي العــام 1946، عقد ارفين شــرودينغر، أحد مؤسســي ميكانيكا الكوانتــم، مؤتمــرا صحافيا ليقتــرح نظريته الموحدة. حتــى رئيس وزراء ايرلنــدا ايمون دي فاليرا حضر المؤتمر، وعندما ســأله صحافي ما الذي سيفعله إذا كانت نظريته خاطئة، أجابه شرودينغر: «أعتقد أنني على حق، وسوف أبدو كغبي كبير لو كنت مخطئا» (وقد شعر شرودينغر بالذل عندما أشار آينشتاين بكل أدب للأخطاء في نظريته).

كان أعنف النقاد للتوحيد هو الفيزيائي فولفغانغ باولي. لقد سخر من آينشتاين بقوله: «ما فرّقه الله لا يمكن لبشر أن يجمعه». وسخر بلا رحمة من أي نظرية نصف منجزة بالقول بسخرية: «إنها ليست مخطئة حتى»، لذا من المفارقة أن يلتقط الساخر الأكبر باولي نفسه العدوى، ففي الخمسينيات اقترح نظريته الموحدة مع فيرنر هايزنبرغ.

عرض باولي في العام 1958 النظرية الموحدة لهايزنبرغ - باولي في جامعة كولومبيا. كان نيلز بور ضمن المستمعين، لكنه لم يكن مقتنعا. وقف بور وقال: «نحن في المؤخرة مقتنعون بأن نظريتك مجنونة. لكن ما يفرقنا هو فيما إذا كانت نظريتك مجنونة جدا». كان النقد قاسيا. وبما أن النظريات الواضحة كلها قد درست ورفضت فيجب أن تكون النظرية الموحدة الحقيقية مختلفة كثيرا عن سابقاتها. كانت نظرية باولي - هايزنبرغ بسيطة جدا وتقليدية جدا وعادية جدا وعقلانية جدا لتكون النظرية الموحدة الحقيقية. (انزعج باولي في تلك السنة عندما أعلن هايزنبرغ على الراديو أن هناك فقط بعض التفاصيل التقنية التي تركت من النظرية. أرسل باولي رسالة إلى رفاقه ورسم فيها مستطيلا فارغا وعليه العنوان: «هذا ليظهر للعالم أنني أستطيع أن ارسم مثل تيتيان (*). لكن هناك بعض التفاصيل التقنية مفقودة فقط» نقد نظرية الأوتار الفائقة

المرشح الرئيس (والوحيد) لنظرية كل شيء [9] اليوم هو نظرية الأوتار الفائقة. لكن مرة أخرى، كانت هناك ردات فعل عنيفة. يدعي المعارضون أنك إذا أردت الحصول على وظيفة دائمة في جامعة مرموقة فعليك أن تعمل على نظرية الأوتار. وإذا لم تفعل ذلك فلن تحصل على الوظيفة. إنها الموضة في هذه الأيام، وهذا ليس شيئا جيدا بالنسبة إلى الفيزياء.

عندما أسمع هذا الانتقاد فإنني أبتسم، لأن الفيزياء شأنها شأن الأنشطة البشرية كلها، عرضة للموضة والبدعة. يمكن لحظوظ النظريات العظيمة، وخصوصا إذا كانت على تخوم المعرفة، أن

(*) تيسانو فيتشيليو، المعروف بتيتيان Titian (1488 - 1576) هو رسام إيطالي من عصر النهضة [المحررة].

تصعد وتهبط من حين لآخر. وفي الحقيقة، فقد قلبت الطاولة منذ سنوات عدة، فقد كانت نظرية الأوتار تاريخيا منبوذة وضحية للسير وراء الموضة.

ولدت نظرية الأوتار الفائقة عام 1968، عندما عثر باحثان شابان هما غابرييل فينيزيانو وماهيكو سوزوكي مصادفة على علاقة بدا أنها تصف تصادمات الجسيمات تحت الذرية. وبسرعة اكتشف أن هذه العلاقة الرائعة يمكن اشتقاقها من تصادم أوتار مهتزة. لكن بحلول العام 1974 ماتت النظرية في المهد. أضحت نظرية جديدة هي الكروموديناميك الكمومي (QCD)(*) أو نظرية الكواركات والتداخل القوي، النظرية المهيمنة على النظريات الأخرى جميعها. هجر الناس نظرية الأوتار الفائقة بمجموعات للعمل على نظرية الـ QCD. وذهب التمويل والوظائف والاعتراف كله إلى الفيزيائيين الذين كانوا يعملون على نموذج الكواركات.

أتذكر تلك السنوات المظلمة جيدا. وعندما أصبح معروفا أنه يمكن لتلك الأوتار الاهتزاز في عشرة أبعاد فقط، أصبحت النظرية مثارا للسخرية. كان رائد نظرية الأوتار جون شفارز من جامعة كاليفورنيا التقنية يلتقي أحيانا مصادفة في المصعد بريتشارد فينمان. وكان فينمان يسأله مازحا: «حسنا جون، ما عدد الأبعاد التي أنت فيها اليوم؟». كنا نمزح بالقول إن المكان الوحيد للعثور فيه على منظّر للأوتار الفائقة هو طابور العاطلين عن العمل. (أسرّ لي حامل جائزة نوبل موراي جيل - مان مؤسس نموذج الكواركات مرة أنه أشفق على منظري الأوتار وخلق «محمية طبيعية» لهم في جامعة كاليفورنيا التقنية، بحيث لا يفقد أناس مثل جون عملهم).

وباعتبار أن العديد من الفيزيائيين الشباب يهرعون اليوم للعمل على نظرية الأوتار الفائقة، فقد كتب ستيف واينبرغ: «تقدم نظرية الأوتار مصدرنا الحالي الوحيد لمرشحين لنظرية نهائية - كيف يمكن لأي شخص أن يتوقع ألا يعمل العديد من ألمع المنظرين عليها؟».

(*) Quantum Chromodynamics.

هل نظرية الأوتار غير قابلة للاختبار؟

أحد الانتقادات الرئيسة لنظرية الأوتار اليوم أنها غير قابلة للاختبار. ويتطلب الأمر محطم ذرات بحجم المجرة ذاتها لاختبار النظرية كما يدعي النقاد.

لكن هذا الانتقاد يهمل حقيقة أن معظم العلم يتم بصورة غير مباشرة، وليس بشكل مباشر. لم يزر أحد حتى الآن الشمس ليجري اختبارا مباشرا، لكننا نعلم أنها مصنوعة من الهيدروجين لأننا نستطيع تحليل خطوط طيفها.

أو خذ الثقوب السوداء. يعود تاريخ نظرية الثقوب السوداء إلى العام 1783 عندما نشر جون ميتشل مقالا في الرسائل الفلسفية للجمعية الملكية. لقد ادعى أن نجما يمكن أن يكون كبيرا جدا بحيث «يجعل الضوء الصادر منه كله يعود إليه بفضل جاذبيته». اختفت نظرية «النجم الأسود» لميتشل لقرون لأن الاختبار المباشر لها كان غير ممكن. وفي العام 1939 كتب آينشتاين ورقة علمية يظهر فيها أن مثل هذا النجم الأسود لا يمكن أن يتشكل بطرق طبيعية. وكان الانتقاد أن هذه النجوم السوداء غير قابلة للاختبار لأنها بالتعريف غير مرئية. لكن منظار هابل الفضائي اليوم يعطينا دليلا رائعا على الثقوب السوداء. ونعتقد اليوم أن مليارات منها تقبع في قلب المجرات، وأن عددا من الثقوب السوداء الجوالة يمكن أن توجد في مجرتنا. لكن النقطة الرئيسة هي أن الدلائل على وجود الثقوب السوداء كلها غير مباشرة، أي أننا جمعنا المعلومات حول الثقوب السوداء بتحليل قرص التعاظم الذي يدور حولها.

والأكثر من ذلك أن العديد من النظريات «غير القابلة للاختبار» تصبح في النهاية قابلة للاختبار. انقضت ألفا سنة للبرهان على وجود الذرات بعد أن اقترحت لأول مرة من قبل ديموقريطيس. وقد لوحق فيزيائيو القرن التاسع عشر من أمثال لودفيغ بولتزمان حتى الموت لاعتقادهم بتلك النظرية، ومع ذلك لدينا اليوم صور رائعة لهذه الذرات. وقد أدخل باولي نفسه فكرة النيوترينو عام 1930، وهو جسيم مراوغ جدا يمكنه أن يمر عبر كتل من الرصاص الصلب بحجم نظام نجم بكامله من دون أن يمتص.

قال باولي: «لقد ارتكبت الخطيئة الكبرى. لقد قدمت جسيما لايمكن أبدا ملاحظته». كان من المستحيل تحسس النيوترينو، ولذا فقد اعتبر أكثر قليلا من مجرد خيال علمي لعقود عدة. لكننا اليوم نستطيع إنتاج حزم شعاعية من النيوترينوات.

وفي الحقيقة هناك عدد من التجارب التي ستقدم كما يأمل الفيزيائيون أول الاختبارات المباشرة على نظرية الأوتار:

- قد يكون صادم هاردون الكبير (LHC) قويا بما يكفي لإنتاج «جسيمات فائقة» sparticles تمثل الاهتزازات الأعلى التي تنبأت بها نظرية الأوتار الفائقة (وأيضا نظريات التناظر الفائق الأخرى).
- وكما ذكرت مسبقا، سيطلق هوائي مقياس تداخل الليزر (LISA) إلى الفضاء عام 2015. وقد يكون LISA ومراقب الانفجار الكبير الذي سيأتي بعده حساسين بما يكفي لاختبار عدد من نظريات «ما قبل الانفجار الكبير»، بما في ذلك نسخ من نظرية الأوتار.
- يختبر عدد من المخابر وجود أبعاد أعلى بالنظر في انحرافات من قانون التربيع العكسي الشهير لنيوتن على المقياس الميليمتري. (لو كان هناك بعد مكاني رابع، فيجب أن تكون الجاذبية على شكل التكعيب العكسي وليس التربيع). تتنبأ أحدث نسخة من نظرية الأوتار (نظرية M) بأن هناك أحد عشر بعدا.
- تحاول عدة مخابر اكتشاف المادة السوداء لأن الأرض تتحرك ضمن ريح فضائية منها. وتقدم نظرية الأوتار تنبؤات محددة قابلة للاختبار حول الخصائص الفيزيائية للمادة السوداء، لأن هذه المادة عبارة عن اهتزاز أعلى للوتر (مثل الفوتينو).
- يؤمل أن تكتشف سلسلة من التجارب الإضافية (مثل تجربة على استقطاب النيوترينو في القطب الجنوبي) وجود ثقوب سوداء صغيرة وأجسام غريبة

أخرى بتحليل الانحرافات في الأشعة الكونية التي يمكن لطاقاتها أن تتجاوز طاقات المصادم LHC. وسوف تفتح تجارب الأشعة الكونية والمصادم LHC جبهة جديدة مثيرة أبعد من النموذج القياسي.

- هناك بعض الفيزيائيين الذين يعتقدون بأن الانفجار الكبير كان متفجرا جدا، بحيث تضخم وتر فائق صغير إلى أبعاد فلكية. وكما كتب الفيزيائي الكسندر فيلينكين من جامعة تافتس «هناك احتمال مثير جدا أن تكون للأوتار الفائقة أبعاد فلكية... وسنستطيع عندئذ ملاحظتها في السماء [10] ونختبر نظرية الأوتار الفائقة مباشرة» (احتمال العثور على وتر فائق ضخم متبق من الانفجار الكبير ضئيل جدا).

هل الفيزياء غير كاملة؟

ساعد ستيفن هوكنغ عام 1980 في قدح شرارة الاهتمام بنظرية كل شيء في محاضرة له عنوانها «هل النهاية قريبة للفيزياء النظرية؟»، حيث قال فيها: «قد نرى نظرية كاملة ضمن حياة بعض الموجودين هنا». لقد ادعى أن هناك فرصة 50 في المائة لاكتشاف نظرية نهائية في السنوات العشرين المقبلة. ولكن عندما جاء عام 2000 ولم يكن هناك اتفاق حول نظرية لكل شيء، غير رأيه وقال إن هناك احتمال 50 في المائة لاكتشافها في السنوات العشرين المقبلة.

ثم غيّر هوكنغ رأيه مرة ثانية في عام 2002 معلنا أن نظرية غودل بعدم الاكتمال قد تقترح خطأ مميتا في منحى تفكيره الأصلي. لقد كتب: «سيخيب أمل بعض الناس إذا لم تكن هناك نظرية نهائية يمكن صياغتها بعدد محدد من المبادئ... لقد أكدت نظرية غودل على أن هناك دوما وظيفة للرياضيين. أعتقد أن نظرية M ستفعل الشيء نفسه للفيزيائيين».

كانت حجته حجة قديمة: بما أن الرياضيات غير مكتملة ولغة الفيزياء هي الرياضيات، فسيكون هناك دوما مقولات فيزيائية

صحيحة أبعد عن متناولنا، وبالتالي فإن نظرية كل شيء ليست ممكنة. وبما أن نظرية عدم الاكتمال قتلت الحلم اليوناني بالبرهان على المقولات الصحيحة في الرياضيات كلها، فإنها أيضا ستضع نظرية كل شيء للأبد أبعد من متناولنا.

لقد عبر فريمان دايسون عن هذا ببلاغة بقوله: «برهن غودل على أن عالم الرياضيات البحتة غير قابل للنفاذ، ولا يمكن لأي مجموعة محدودة من القواعد والمقولات أن تحتوي الرياضيات كلها... آمل أن يوجد شيء مماثل لهذا في عالم الفيزياء. وإذا كانت نظرتي صحيحة، فإن هذا يعني أن عالم الفيزياء والفلك غير قابلين للنفاذ أيضا، مهما ابتعدنا في المستقبل فسيكون هناك دوما أشياء جديدة تحدث ومعلومات جديدة ترد وعوالم جديدة تكتشف وحقل يتوسع باستمرار من الحياة والوعي والتذكر».

ويلخص الفيزيائي الفلكي جون بارو هذا المنطق بهذه الطريقة [11]: «إن العلم مبني على الرياضيات، ولا يمكن للرياضيات أن تكتشف الحقائق كلها، وبالتالي فلا يمكن للعلم أن يكتشف الحقائق كلها».

مثل هذه الحجة قد تكون صحيحة أو خاطئة، لكن هناك عيوبا ممكنة فيها. فمعظم الرياضيين المحترفين يهملون نظرية عدم الاكتمال في عملهم. ويعود هذا إلى أن نظرية عدم الاكتمال تبدأ بتحليل مقولات تشير إلى نفسها أي أنها ذاتية الاشارة. على سبيل المثال فالمقولات كالمقولة التالية إشكالية:

- هذه الجملة خاطئة.
- أنا كاذب.
- لا يمكن البرهان على هذه المقولة.

في الحالة الأولى، لو كانت الجملة صحيحة فإن هذا يعني أنها خاطئة. ولو كانت الجملة خاطئة فإن المقولة صحيحة. وبالمثل لو كنت أقول الحقيقة فإنني أقول كذبة، ولو كنت أقول كذبة فإنني اقول الحقيقة. وفي الحالة الأخيرة لو كانت الجملة صحيحة من غير الممكن البرهان على أنها صحيحة.

(المقولة الثانية هي إشكالية الكاذب الشهيرة. اعتاد الفيلسوف الكريتي ابيمينيدس أن يشـــرح هذه الإشكالية بالقول: «كل الكريتيين كاذبون». ومع ذلك فقد أخطأ القديس بول الفكرة تماما، وكتب في رســـالته إلى تيتاس: «لقد قالها أحد أنبياء كريت» الكريتيون كاذبون دوما ومتوحشـــون شريرون ونهمون كسالى «لقد قال الحق بالتأكيد».

تبنـــى نظرية عدم الاكتمال على مقولة مثل «لا يمكن البرهان على هذه الجملة باستخدام بديهيات الرياضيات»، ويخلق هذا شبكة معقدة من هذه الإشكالات التي تشير إلى ذاتها.

لكن هوكنغ يســـتخدم نظرية عدم الاكتمـــال ليبرهن على عدم إمكانية وجود نظرية لكل شـــيء. إنه يدّعي أن المفتاح لنظرية عدم الاكتمال لغودل هـــو أن الرياضيات تشـــير إلى ذاتها، وأن الفيزيـــاء تعاني من هذا المرض ايضـــا. وبمـــا أنه لا يمكن فصـــل المراقب من عملية المراقبـــة، فهذا يعني أن الفيزياء ســـتبقى تشير إلى ذاتها لأننا لا نســـتطيع مغادرة الكون. وفي التحليل النهائي فإن المراقب نفســـه مخلوق من ذرات وجزيئـات، وبالتالـي لا بد أن يكون جزءا متكاملا من التجربة التي يقوم بها.

لكـــن هناك طريقة لتجنب نقد هوكنغ. لتجنب الإشـــكالات الكامنة في نظرية غودل، يقول الرياضيون المحترفون اليوم بأن عملهم يستبعد المقولات ذاتية الإشـــارة كلها. يستطيعون بعد ذلك تجنب نظرية عدم الاكتمال. لقد تحقق التطـــور المتفجر للرياضيات منذ عهد غودل إلى درجة بعيدة نتيجة إهمـــال نظرية عـــدم الاكتمال، أي باقتراح أن العمـــل الحالي لا يقوم بأي مقولات تشير إلى ذاتها.

مـــن الممكـــن بالطريقـــة ذاتها بناء نظرية كل شـــيء يمكنها شـــرح كل تجربة معروفة بشـــكل مســـتقل عن مقولة المراقـــب / المراقب. لو استطاعت نظرية كل شيء كهذه أن تفسر كل شيء، من منشأ الانفجار الكبيـــر إلى الكون المرئي الذي نراه حولنا، فســـيصبح وصفنا للتداخل بين المراقب والمراقب أكاديميا. وفي الحقيقة يجب أن يكون أحد معايير نظرية كل شـــيء هو أن نتائجها مستقلة تماما عن كيفية إجراء الفصل بين المراقب والمراقب.

والأكثر من ذلـك، أن الطبيعة قد تكون غير قابلة للاسـتنفاذ وبلا حدود حتى لو أنها مؤسسـة على حفنة من المبادئ. خذ لعبة شـطرنج. اسـأل غريبا من كوكب آخر أن يكتشف قوانين لعبة الشطرنج بمراقبة اللعبـة فقط. بعد فترة سـيعرف الغريب كيف تحـرك الجنود والملوك والأفيال. فقوانين اللعبة محدودة وبسـيطة. لكن عدد اللعبات المحتملة كبير جدا. بالطريقة نفسها فإن قوانين الطبيعة قد تكون أيضا محدودة وبسيطة لكن تطبيقات هذه القوانين قد تكون لامحدودة. إن هدفنا هو ايجاد قوانين الفيزياء.

لدينا مسـبقا بمعنى ما نظرية كاملة لعدد من الظواهر. فلم يكتشف أحد عيبا في معادلات ماكسويل بالنسبة للضوء. وكثيرا ما دعي النموذج القياسـي بـ «نظرية لكل شيء تقريبا» افترض للحظة أن بإمكاننا إغلاق الجاذبيـة. عندهـا يصبـح النموذج القياسـي نظريـة صحيحة تماما للظواهـر كلها، إضافـة للجاذبية. قد تكون هـذه النظرية قبيحة لكنها تعمل. وحتى بوجود نظرية عدم الاكتمال، فلدينا نظرية كل شيء معقولة تماما (إضافة للجاذبية).

وبالنسـبة لي، من المدهش حقا أن يسـتطيع المـرء كتابة القوانين التي تحكم الظواهر الفيزيائيـة المعروفة كلها على صفحة من الورق، بحيـث تغطي ثلاثا وأربعين قيمة أسـية، من أبعـد أرجاء الكون على بعـد نحو 10 مليارات سـنة ضوئية، إلى العالـم الميكروي للكواركات والنيوترينوات. على هذه الورقة سـتكون هناك معادلتان فقط، نظرية آينشـتاين في الجاذبية والنموذج القياسـي. وبالنسبة لي يظهر هذا بسـاطة الطبيعة وتناغمها الأقصى على المسـتوى الأسـاس. كان من الممكـن أن يكون الكون عشـوائيا ومنحرفا ومتقلبا. ومع ذلك يبدو لنا متكاملا ومتجانسا وجميلا.

يقارن سـتيف واينبرغ حامـل جائزة نوبل محاولتنا لنظرية كل شـيء بمحاولتنـا الوصول إلى القطب الشـمالي. فلقرون عمل البحارة بخرائط لا وجـود للقطب الشـمالي فيها. لكن إبر البوصـلات والخرائط جميعها أشـارت إلى هذه القطعة المفقودة من الخريطة التي لم يزرها أحد فعلا.

وبالطريقة ذاتها تشير بياناتنا ونظرياتنا كلها إلى نظرية كل شيء. إنها الجزء المفقود في معادلاتنا.

ستكون هناك دوما أشياء ابعد من متناولنا ويستحيل استكشافها (مثل الموقع الأكيد للإلكترون أو العالم الأبعد من الوصول إليه بسرعة الضوء). لكنني أعتقد أن القوانين الرئيسة معروفة ومحدودة. وستكون السنوات المقبلة في الفيزياء أكثرها إثارة ونحن نستكشف الكون بجيل جديد من مسرّعات الجسيمات وحسّاسات موجات الجاذبية الموضوعة في الفضاء وتقانات أخرى. لسنا عند نهاية الفيزياء الجديدة، بل في بداياتها. لكن مهما اكتشفنا، فستكون هناك دوما آفاق جديدة تنتظرنا باستمرار.



الهوامش

المقدمة

(1) السبب في أن هذا صحيح هو نظرية الكوانتم. عندما نضيف التصحيحات الكوانتية الممكنة كلها إلى نظرية ما (عملية شاقة دعيت «إعادة التقييس») نجد أن الظواهر التي كانت ممنوعة مسبقا، على المستوى الكلاسيكي، تعود للدخول في الحسابات. يعني هذا أنه ما لم يكن هناك شيء ما ممنوع بوضوح (بقانون الجاذبية على سبيل المثال) فإنه يعود للدخول في النظرية، عندما تضاف التصحيحات الكوانتية عليها.

الفصل الثاني

(1) كتب أفلاطون: «لن يرفع أي شخص يده عن شيء لا يمتلكه، إذا كان بإمكانه أن يأخذ بأمان ما يريده من السوق، أو أن يدخل البيوت ويضطجع كما يشاء مع أي شخص، أو يقتل من يريد في السجن أو يطلق سراحه، وأن يكون من النواحي كلها أشبه بإله بين رجال... لو استطعت تخيل حصول أي شخص على هذه القوة أن يصبح مختفيا، وألا يرتكب أي خطأ، أو يمد يده إلى ممتلكات غيره، فإن ملاحظيه سيعتبرونه أتعس غبي...».

(2) نيثن ميرفولد، مجلة نيو سيانتيست، 18 نوفمبر، 2006، ص 69.

(3) خوزيه غلاسيوس، مجلة ديسكافار، نوفمبر 2006.

(4) «وجد أن أشباه المواد تعمل على الضوء المرئي»، يوريكاليرت، www.eurekalert.org/pub_releases/2007-01, 2007، أيضا مجلة نيوسيانتيست، 18 ديسمبر، 2006.

الفصل الثالث

(1) أرسل النازيون أيضا فريقا إلى الهند للتحري عن بعض الادعاءات الأسطورية القديمة للهندوس (مشابهة لمحور قصة «مغيرو السفينة المفقودة»). اهتم النازيون بكتابات الماهابهاراتا، الذي وصف أسلحة غريبة وقوية بما فيها المركبة الطائرة.

(2) نشرت أفلام كهذه أيضا عددا من المفاهيم الخاطئة حول الليزر. فأشعة الليزر في الحقيقة غير مرئية، ما لم توزع بالدقائق الموجودة في الهواء. لذا عندما

كان على توم كروز أن يشق طريقه عبر شبكة من أشعة الليزر في فيلم «مهمة مستحيلة»، كان من المفترض أن تكون شبكة الأشعة الليزرية غير مرئية، وليست حمراء كما في الفيلم. وأيضا يمكنك أن ترى في العديد من المعارك بالمدافع الشعاعية في الأفلام نبضات ليزرية تعبر متقطعة خلال غرفة، وهذا مستحيل، لأن ضوء الليزر ينتقل بسرعة الضوء التي تبلغ 186000 ميل في الثانية.

(3) آسيموف وشولمان، صفحة 124.

الفصل الرابع

(1) أفضل مثال مدون على النقل الفوري البعيد يعود إلى 24 أكتوبر 1593 عندما ظهر جيل بيريز، وهو جندي في الجيش الفليبيني كان يحرس قصر حاكم مانيلا، في بلازا الحاكم في مدينة المكسيك. قبض عليه وهو مضطرب ومشوش من قبل السلطات المكسيكية التي ظنت أنه متحالف مع الشيطان. وعندما أحضر أمام المحكمة الأقدس للاستجواب، كان كل ما قاله للدفاع عن نفسه أنه اختفى من مانيلا إلى المكسيك «في زمن أقل من صياح الديك» (على رغم غرابة الأوصاف التاريخية لهذا الحدث، فإن المؤرخ مايك داش لاحظ أن السجلات الأولى على اختفاء بيريز تعود إلى قرن بعد اختفائه، وبالتالي لا يمكن تصديقها تماما).

(2) اشتهرت أعمال دويل الأولى بالتفكير المنهجي والمنطقي الذي يميز مهنته الطبية، كما يلاحظ في استنتاجات شرلوك هولمز الفائقة، لذا، لماذا قرر دويل التحول من المنطق العقلاني البارد للسيد هولمز إلى المغامرات المرعبة للبروفيسور تشالنجر، الذي دخل عوالم السحر المحرمة، والغموض وأطراف العلم؟ تغير المؤلف بعمق بسبب الموت المفاجئ وغير المتوقع لعدد من أقربائه في الحرب العالمية الأولى، بمن فيهم ولده المحبوب كينغسلي وأخوه واثنان من أصهاره واثنان من أبناء إخوته. وقد تركت هذه الخسارات جرحا عاطفيا عميقا ودائما في نفسه.

مكتئبا من موتهم المأساوي. قد شرع دويل في العمل بقية حياته بعالم السحر الباهر، معتقدا أنه ربما استطاع التواصل مع الموتى عبر الروحانيات. تحول فجأة من عالم العلم المنطقي والتجريبي إلى الغموض، واستمر في إلقاء محاضرات مشهورة عن العالم حول الظواهر النفسانية الغامضة.

(3) بصورة أدق، يقول مبدأ عدم التأكد لهايزنبرغ إن حاصل ضرب عدم التأكد في موقع الجسيم، بعدم التأكد في عزمه، يجب أن يكون أكبر من ثابت بلانك مقسوما على 2π أو مساويا له، أو أن حاصل ضرب عدم التأكد في طاقة الجسيم، بعدم التأكد بزمنه، يجب أيضا أن يكون أكبر من ثابت بلانك مقسوما على 2π أو مساويا له. لو سمحنا لثابت بلانك بأن يصل إلى الصفر فإن هذا سيرجع بنا إلى نظرية نيوتن العادية، حيث تكون قيم عدم التأكد جميعها مساوية للصفر.

حرضت حقيقة عدم معرفة موقع الإلكترون وعزمه وطاقته أو زمنه تريغفي ايميلسون ليقول مازحا «استنتج المؤرخون أن هايزنبرغ ربما كان يصور حياته العاطفية عندما اكتشف مبدأ عدم التأكد: عندما كان لديه الوقت، لم تكن لديه القدرة، وعندما كانت اللحظة مناسبة لم يتبين الموقع»). بارو، بين المكان في الداخل والمكان في الخارج، الصفحة 187.

(4) كاكو، كون آينشتاين، صفحة 127.

(5) آسيموف وشولمان، صفحة 211.

(6) افترض للحظة أن الأجسام الكبيرة، بما فيها الناس، يمكن نقلها بواسطة النقل الفوري البعيد. يثير هذا أسئلة فلسفية ودينية حول وجود «روح» لو تم نقل الشخص بشكل فوري وبعيد. لو نقلت نقلا فوريا وبعيدا إلى مكان جديد، هل تنتقل روحك معك أيضا؟

استكشفت بعض هذه الأسئلة الأخلاقية في رواية باتريك كيللي «فكِّر مثل ديناصور». في هذه القصة نقلت امرأة بالنقل الفوري البعيد إلى كوكب آخر، لكن كانت هناك مشكلة في النقل. بدلا من أن يفنى الجسم الأصلي، فإنه يبقى كما هو، وتبقى عواطفها كلها من دون مس. فجأة توجد نسختان منها. وبالطبع عندما تؤمر النسخة بدخول آلة النقل لكي تتفكك فإنها ترفض ذلك. يؤدي هذا إلى خلق مشكلة، لأن الغرباء القساة الذين أدخلوا التقنية أولا ينظرون إلى هذه المشكلة على أنها مسألة تقنية فقط «وازن المعادلة»، بينما يتعاطف البشر الخاضعون للعاطفة أكثر مع قضيتها.

ينظر إلى النقل الفوري البعيد في معظم القصص على أنه منحة إلهية. لكن في رواية «الجونت» (The Jaunt) أو الرحلة، يستكشف المؤلف

ستيفان رنغ نتائج ما يحدث إذا كانت هناك تأثيرات جانبية للنقل الفوري البعيد. يصبح النقل الفوري البعيد في المستقبل شائعا ويدعى بولع «الجونت». قبل رحلة إلى المريخ، يشرح أب لأولاده التاريخ الغريب وراء الجونت، وأنها اكتشفت لأول مرة من قبل عالم استعملها لنقل الفئران، لكن الفئران الوحيدة التي بقيت حية كانت تلك التي تم تخديرها. ماتت الفئران التي كانت يقظة بينما كانت تنقل بالنقل الفوري البعيد بشكل شنيع. لذا ينوَّم البشر بشكل عادي قبل نقلهم بهذه الطريقة. كان الشخص الوحيد الذي نقل مستيقظا مجرما مدانا وعد بعفو كامل إذا خضع لهذه التجربة. لكنه بعد نقله، تعرض لنوبة قلبية قوية، وتمتم بكلماته الأخيرة «إنه الخلود هناك».

لسوء الحظ قرر الابن بعد سماعه هذه القصة المثيرة أن يوقف تنفسه حتى لا يتخدر. كانت النتيجة مأساوية. بعد نقله أصيب فجأة بالجنون. وابيض شعره، واصفرت عيناه من كبر السن، وحاول فرك عينيه. أميط اللثام عن السر الآن. تنقل المادة الفيزيائية بالنقل الفوري البعيد فورا، لكن الرحلة بالنسبة إلى العقل تستغرق وقتا لا متناهيا، حيث يبدو الزمن من دون نهاية، ويدفع الشخص نحو الجنون تماما.

(7) كيرت سوبلي، «أفضل 100 قصة خيال علمي للعام 2006»، مجلة ديسكافار، ديسمبر 2006، صفحة 35.

(8) زيا ميرالي، مجلة نيو سيانتيست، 13 يونيو 2007.

(9) ديفيد دويتش، مجلة نيو سيانتيست، 18 نوفمبر 2006، صفحة 69.

الفصل الخامس

(1) يمكن للمرء أن يقوم خلال حفلات العشاء بإنجازات مدهشة في التخاطر من بعد. اسأل كل شخص في الحفلة أن يكتب اسما على قصاصة من الورق، وضع القصاصات في قبعة. ثم التقط قصاصة مغلقة واحدة بعد الأخرى، وقبل فتحها اقرأ عاليا الاسم المكتوب عليها. سيدهش الحضور. لقد أثبتَّ التخاطر من بعد أمام عيونهم. وصل بعض السحرة حقا إلى الشهرة بسبب هذه الخدعة.

(السر وراء هذا الإنجاز من قراءة الأفكار هو التالي. اسحب القصاصة الأولى من الورق واقرأها بصمت لنفسك، لكن أعلن للجمهور أنك تجد صعوبة في قراءتها بسبب سحابة «الأثير الروحاني». ثم اسحب قصاصة ثانية من الورق لكن لا تفتحها فورا. اقرأ الآن الاسم الذي قرأته على القصاصة الأولى. سيدهش الشخص الذي كتب هذا الاسم الأول على قصاصته ويعتقد أنك قرأت القصاصة الثانية المغلقة. افتح الآن القصاصة الثانية واقرأها بصمت لنفسك. اسحب القصاصة المغلقة الثالثة، واقرأ الاسم على القصاصة الثانية بصوت عال. كرر هذه العملية. وفي كل مرة تقرأ فيها عاليا الاسم على قصاصة الورق، فإنك تقرأ محتويات القصاصة السابقة من الورق).

(2) يمكن تحديد حالة المرء العقلية بشكل تقريبي بتتبع المسار الدقيق الذي تسلكه عينه المتحركة وهي تمسح صورة. وبتسليط شعاع نحيل من الضوء على بؤبؤ العين، يمكن رسم صورة منعكسة للشعاع على الجدار. وبتتبع المسار الذي يسلكه هذا الشعاع المنعكس على الجدار، يمكن للمرء أن يعيد بدقة تركيب مسار حركة العين وهي تمسح الصورة. (عند مسح وجه شخص في صورة على سبيل المثال تتحرك عين المراقب عادة بسرعة جيئة وذهابا بين عيني الشخص في الصورة، ثم تنتقل إلى الفم، وتعود إلى العينين، قبل أن تمسح الصورة بكاملها).

وبينما يمسح شخص ما صورة، يمكن للمرء أن يحسب حجم بؤبؤي عينيه، وبالتالي فيما إذا كانت أفكاره سارة أم لا، أثناء مسحها أجزاء معينة من الصورة. وبهذه الطريقة يمكن للمرء أن يقرأ حالة الشخص العاطفية (على سبيل المثال، سيختبر القاتل عواطف قوية وهو ينظر إلى صورة مسرح الجريمة، ويمسح الموقع الدقيق للجثة. وسيعرف القاتل والشرطة فقط هذا الموقع).

(3) شملت جمعية البحث النفساني اللورد رايلي (حائز جائزة نوبل) والسير ويليام كروكس (مخترع أنبوب كروكس المستخدم في الإلكترونيات)، وتشارلز ريشيت (حائز جائزة نوبل)، وعالم النفس الأمريكي وليام جيمس، ورئيس الوزراء آرثر بلفور. شمل مؤيدوها أسماء لامعة مثل مارك توين وآرثر كونان دويل والفرد لورد تينيسون ولويس كارول وكارل يونغ.

(4) خطط راين في البداية أن يصبح قسا، لكنه تحول بعد ذلك إلى علم النبات بينما كان يدرس في جامعة شيكاغو. وبعد حضور حديث العام 1922 ألقاه السير آرثر كونان دويل، الذي كان يلقي محاضرات في أرجاء البلد حول

التواصــل مع الموتى، أصبح راين مهتما بالظواهر النفســانية. قرأ بعد ذلك كتاب «بقاء الإنسان» المؤلف من قبل السير أوليفر لودج حول اتصالات مزعومة مع الموتى خلال جلسات استحضار أرواح مما زاد من اهتمامه. لكنه كان مع ذلك غير راض عن الحالة الراهنة للروحانيات، التي كانت ســمعتها ملطخة غالبا بقصص سيئة من الحيل والخدع. في الحقيقة فضحت تحقيقات راين الخاصــة روحانية تدعى مارجيري كراندون على أنها مخادعة، مما ســبب سخط العديد من الروحانيين عليه، بمن فيهم كونان دويل.

(5) راندي، الصفحة 51.

(6) راندي، الصفحة 143.

(7) مجلة سان فرنسيسكو، 26 نوفمبر 2001.

(8) أخيرا هناك أيضا أســئلة قانونية وأخلاقية عندما تصبح أشــكال محدودة من التخاطر شائعة في المستقبل. في كثير من الدول من غير القانوني تسجيل مخابرة شــخص ما من دون اذنه، لذا قد يكون من غير القانوني في المســتقبل تســجيل أنماط تفكير الانســان من دون إذنه أيضا. أيضا قــد يعترض مؤيدو الحريات المدنية على قراءة أنماط تفكير الشــخص من دون إذنه، في أي سياق. وباعتبار الطبيعة المنزلقة لأفكار الشــخص، قد يكــون من غير القانوني أبدا الدخول في أنماط التفكير في قاعة محكمة. في فيلم «تقرير الأقلية» (Minority Report) الذي يمثله توم كروز كان الســؤال الأخلاقي فيما إذا كان بإمكانك القبض على أي شخص لجريمة لم يرتكبها بعد. في المستقبل قد يكون السؤال فيما إذا كانت نية الشــخص في ارتكاب جريمة ما، كما تدل أنماط التفكير على ذلك، تشــكل دليلا يدين ذلك الشــخص. لو قام شخص بإطلاق تهديدات لفظيا، فهل سيؤثر ذلك بشدة كما لو قام بإطلاق هذه التهديدات عقليا؟

ســتكون هناك أيضا مســألة الحكومات ووكالات الأمن التــي لا تهتم بأي قوانين مهما كانت، وتخضع الناس بالإجبار لمســوحات الدماغ. هل يشــكل هذا تصرفا قانونيا صحيحا؟ هل سيكون من المسموح به قانونيا قراءة عقل إرهابي لاكتشــاف خططه؟ وهل سيكون قانونيا زرع ذكريات زائفة من أجل خداع الأفراد؟ في «الاستدعاء الشامل» (Total Recall) الذي يمثله أرنولد شوارزنيغر، برز السؤال باستمرار فيما إذا كانت ذكريات الشخص حقيقية،

أو مزروعة، مما يؤثر في حقيقة طبيعة من نحن.

من المحتمل أن تبقى هذه الأسئلة نظرية بحتة لعقود مقبلة، لكن مع تقدم التقنية ببطء، فإنها ستثير حتما قضايا أخلاقية وقانونية واجتماعية. ولحسن الحظ، لايزال لدينا الكثير من الوقت لحلها.

(9) دوغلاس فوكس، مجلة نيو سيانتيست، 4 مايو 2006.

(10) فيليب روس، سيانتفيك أمريكان، سبتمبر 2003.

(11) سيانس ديلي، 9 أبريل، 2005، www.sciencedaily.com.

(12) كافيلوس، الصفحة 184.

الفصل السادس

(1) بدأ راندي المدهش مهنة من فضح الخدع، لاشمئزازه من استغفال السحرة المهرة المحترفين للأفراد السذج بامتلاكهم قوى نفسانية، وبالتالي الاحتيال على الجمهور المصدق. استمتع خصوصا بإعادة تمثيل كل إنجاز قام به النفسانيون. قلّد راندي المدهش هوديني العظيم، وهو ساحر بدأ أيضا مهنة ثانية بفضح الخدع والسحرة الذين يستخدمون مهاراتهم السحرية لخداع الآخرين من أجل الربح الشخصي. تباهى راندي بأنه يستطيع خداع حتى العلماء بحيله. يقول: «أستطيع أن أذهب إلى مخبر، وأخدع الأطراف النهائية لأي مجموعة من العلماء»، كافيلوس، صفحة 220.

(2) كافيلوس، صفحة 240.

(3) كافيلوس، صفحة 240.

(4) فيليب روس، سيانتفيك أمريكان، مايو 2003.

(5) ميغويل نيكوليسيس وجون تشابين، سيانتفيك امريكان، أكتوبر 2002.

(6) كيلا دون، مجلة ديسكافار، ديسمبر 2006، صفحة 39.

(7) اريستايد ريكويشا «روبوتات النانو»،

http://www.lmr.usc.edu/~lmr/publications/nanorobotics.

الفصل السابع

(1) يجادل البروفسور بنروز بأن التأثيرات الكمومية يجب أن تكون موجودة في الدماغ الذي يجعل التفكير البشـري ممكنا. سيقول معظم علماء الحاسوب إن كل عصبـون في الدماغ يمكن نسـخه على سلسـلة معقدة من أنصاف النواقـل، بالتالي يمكن اختزال الدماغ إلى جهاز كلاسـيكي. الدماغ معقد بشكل فائق، لكنه في جوهره يتألف من مجموعة من العصبونات التي يمكن نسـخ تصرفها بواسـطة أنصاف النواقل. لكن بنـروز لا يوافق على ذلك. وهـو يدعي أن هناك بنى في خلية، تدعى أنابيـب ميكروية، تظهر تصرفا كموميا، ولذا لا يمكن أبدا اختزال الدماغ إلى مجموعة بسيطة من العناصر الإلكترونية.

(2) كاكو، رؤى، صفحة 95.

(3) كافيلوس، صفحة 90.

(4) رودني بروكس، مجلة نيو سيانتيست، 18 نوفمبر، 2006، الصفحة 60.

(5) كاكو، رؤى، صفحة 61.

(6) كاكو، رؤى، صفحة 65.

(7) بيل غيتس، مجلة سكيبتيك، الجزء 12، رقم 12، 2006، صفحة 35.

(8) بيل غيتس، سيانتيفيك أمريكان، يناير 2007، صفحة 63.

(9) سيانتيفيك أمريكان، نوفمبر 2007، صفحة 58.

(10) سوزان كروغلينسكي، «أفضل 100 قصة خيال علمي للعام 2006» مجلة ديسكافار، صفحة 16.

(11) كاكو، رؤى، صفحة 76.

(12) كاكو، رؤى، صفحة 92.

(13) كافيلوس، صفحة 98.

(14) كافيلوس، صفحة 101.

(15) بارو، نظريات كل شيء، صفحة 149.

(16) سيدني برينير، مجلة نيو سيانتيست، 18 نوفمبر، 2006، صفحة 35.

(17) كاكو، رؤى، صفحة 135.

(18) كاكو، رؤى، صفحة 188.

(19) لذا قد تشـــكل مخلوقاتنا الميكانيكية في النهاية المفتاح لبقائنا أحياء على المدى البعيد. وكما يقول مارفين مينســـكي «نحن البشر لسنا نهاية التطور، لذا إذا استطعنا صنع آلة ذكية كالإنسان، فإننا نستطيع أيضا صنع آلة أذكى منه. ليس هناك جدوى من صنع شـــخص عادي آخر. تود أن تصنع شخصا يستطيع فعل أشياء لا يمكننا القيام بها». كروغلينسكي، «أفضل 100 قصة خيال علمي للعام 2006»، صفحة 18.

(20) الخلود بالطبع هو شـــيء رغب فيه الناس منذ أن بدأ الإنسان، وحيدا في مملكة الحيوان، يفكر في نهايته. وبالتعليق على الخلود قال وودي آلان مرة: «لا أريـــد الحصول على الخلود من خلال أعمالي. أريد تحقيق الخلود بعدم المـــوت. لا أريد أن أســـتمر بالعيش في قلوب أبناء وطنـــي. أفضل أن أبقى أعيش في منزلي». يعتقد مورافيك بشكل خاص أننا سنندمج في المستقبل البعيد مع مخلوقاتنا لخلق مســـتوى أعلـــى مـــن الذكـــاء. يتطلب هذا نسخ الـ 100 مليار عصبون الموجودة في دماغنا، كل منها متصل بدوره ربما بعدة آلاف مـــن العصبونات الأخرى. وبينما نجلس علـــى طاولة غرفة العمليات، هناك غلاف روبوتي مستلق بجوارنا. تتم العملية الجراحية بحيث إذا أزحنا عصبونا يُخلق عصبون ســـيليكوني مماثل في غـــلاف الروبوت. ومع مرور الزمن يســـتبدل كل عصبون في جســـمنا، بعصبون سيليكوني في الروبوت، بحيـــث نكون واعين خـــلال العملية كلها. في النهاية ينقـــل دماغنا بالكامل بشكل مستمر إلى غلاف الروبوت بينما نشاهد العملية كلها. في أحد الأيام نموت ضمن جســـدنا الفاني المتداعي. وفي اليوم التالي نجد أنفسنا ضمن أجساد لا تفنى بالذكريات وبالشخصية نفسها، من دون أن نفقد الوعي.

الفصل الثامن

(1) جيسن ستال، مجلة ديســـكافار، «أفضل 100 قصة خيال علمي»، ديسمبر 2006، صفحة 80.

(2) كافيلوس، صفحة 15.

(3) كافيلوس، صفحة 12.

(4) ورد وبراونلي، صفحة xiv.

(5) كافيلوس، صفحة 26.

(6) بصـــورة عامـــة على الرغم مـــن أن اللغات والثقافات المحلية ستســـتمر في الازدهار في مناطق مختلفة من العالم، ستظهر لغة وثقافة عالميتان تنتشران على مدى القارات كلها. وســـتتعايش الثقافة العالميـــة مع المحلية في الوقت نفسه. هذا الوضع موجود مسبقا بالنسبة إلى النخب من المجتمعات جميعها.

هنـــاك أيضا قوى تعـــارض هذا التوجه نحو نظام كوكبـــي. هناك إرهابيون يدركون بشكل غريزي لا واع أن التقدم نحو حضارة كوكبية سيجعل التسامح والتعدد المدني محور الثقافة الناشـــئة، وسيشكل هذا تهديدا لأناس سعداء بالعيش في الألف سنة الأخيرة.

الفصل التاسع

(1) كاكو، هاييرسبيس، صفحة 302.

(2) جيلستر، صفحة 242.

الفصل العاشر

(1) ناسا، 12 أبريل 1999 http: //science. nasa. gov.

(2) كول، صفحة 225.

الفصل الحادي عشر

(1) كافيلوس، صفحة 137.

(2) كاكو، عوالم متوازية، صفحة 307.

(3) كافيلوس، صفحة 151.

(4) كافيلوس، صفحة 154.

(5) كافيلوس، صفحة 154.

(6) كاكو، عوالم متوازية، صفحة 121.

(7) كافيلوس، صفحة 145.

(8) هوكنغ، صفحة 146.

الفصل الثاني عشر

(1) ناهين، صفحة 322.

(2) بيكوفر، صفحة 10.

(3) ناهين، صفحة ix.

(4) بيكوفر، صفحة 130.

(5) كاكو، عوالم متوازية، صفحة 142.

(6) ناهين، صفحة 248.

الفصل الثالث عشر

(1) كاكو، هاييرسبيس، صفحة 22.

(2) بيس، صفحة 330.

(3) كاكو، هاييرسبيس، صفحة 118.

(4) مجلة نيوسيانتيست، 18 نوفمبر 2006، صفحة 37.

(5) كول، صفحة 222.

(6) غرين، صفحة iII.

(7) مع ذلك فإن خاصة أخرى من تفسير «العوالم المتعددة» هي أنه ليست هناك حاجة إلى أي افتراض آخر سوى المعادلة الموجية الأصلية. بهذه

الصورة لا نحتاج إلى حل التابع الموجي أو القيام بملاحظات. يقسم التابع الموجي ببساطة الكل بنفسه آليا، دون أي تدخل أو افتراضات من الخارج. بهذا المعنى فإن نظرية «العوالم المتعددة» أسهل للفهم من النظريات الأخرى جميعها التي تتطلب مراقبين خارجيين وقياسات، وحل الموجات وما إلى ذلك. من الصحيح أننا مثقلون بعدد لامتناه من الأكوان، لكن التابع الموجي يحافظ على حركتها، دون أي افتراضات أخرى من الخارج.

إحدى الطرق لفهم لماذا يبدو كوننا الفيزيائي مستقرا وآمنا جدا هي بتحريض عدم التماسك، أي أن كوننا انفصل عن الأكوان الموازية تلك كلها. لكن عدم التماسك لا ينهي الأكوان الموازية الأخرى تلك. فعدم التماسك يفسر فقط لماذا يبدو كوننا من بين مجموعة لامتناهية من الأكوان مستقرا. يؤسس عدم التماسك على فكرة أن الأكوان يمكنها أن تنشطر إلى أكوان عديدة، لكن كوننا يصبح عبر تفاعلاته مع البيئة منفصلا تماما عنها.

(8) كاكو، عوالم متوازية، صفحة 169.

الفصل الرابع عشر

(1) آسيموف، صفحة 12.

(2) اعترض بعض الناس معلنين أن العقل البشري الذي يمثل ربما أعقد شيء خلقته الطبيعة في النظام الشمسي يناقض المبدأ الثاني في الثرموديناميك. لا ينافس العقل البشري المؤلف من 100 مليار عصبون في تعقيده أي شيء يقع ضمن 24 تريلون ميل من الأرض إلى أقرب نجم. ولكن كم يتطابق هذا الاختزال الضخم للأنتروبيا مع القانون الثاني، كما يسألون؟ تبدو عملية التطور نفسها متناقضة مع القانون الثاني. الجواب عن هذا السؤال هو أن الانخفاض في الأنتروبيا الناجم عن نشوء متعضيات أكثر تعقيدا بمن فيهم البشر، يأتي على حساب رفع الأنتروبيا الكلية في أمكنة أخرى. فالنقص في الأنتروبيا الناشئ عن التطور يتوازن أكثر بزيادة الأنتروبيا في البيئة المحيطة، أي أنتروبيا الأشعة الشمسية التي تسقط على الأرض. يخفّض خلق العقل البشري عبر التطور الأنتروبيا، لكن هذا يعوض أكثر بالفوضى التي نخلقها (على سبيل المثال التلوث والحرارة الضائعة والاحترار العالمي... إلخ).

(3) كان تيسلا مع ذلك شخصية مأساوية حيث سلبت منه عائداته من براءات اختراعه التي مهدت الطريق للراديو والتلفاز وثورة الاتصالات (لكننا نحن الفيزيائيين ضمنًا ألا ينسى اسم تيسلا. لقد سمينا وحدة المغناطيسية باسمه. تعادل 1 تيسلا 10000 غوص أو تقريبا 20000 مرة من حقل المغناطيسية الأرضية).

اليوم نسي تيسلا إلى حد بعيد، عدا أن ادعاءاته الأكثر حبا للذات أصبحت موضوع الهواة والحكايات. اعتقد تيسلا أن باستطاعته التواصل مع الحياة على المريخ، وحل نظريةُ الحقل الموحد غير المنتهية لآينشتاين، وتقسيم العالم إلى نصفين مثل تفاحة، وتطوير شعاع قاتل يمكنه تحطيم 10 آلاف طائرة من مسافة 250 ميلا (أخذت الشرطة الاتحادية FBI ادعاءه حول شعاع الموت بجدية، بحيث إنها استولت على معظم مذكراته ومعداته المخبرية بعد موته، ومازال بعضها محفوظا في مستودع سري حتى اليوم).

كان تيسلا في ذروة الشهرة في العام 1931 عندما احتل الصفحة الأولى لمجلة «تايم». أدهش العامة بشكل منتظم بإطلاق شحنات ضخمة من الضوء تحتوي على ملايين الفولتات من الطاقة الكهربائية على الجمهور المتعجب. لكن فشل تيسلا كان في مشاكله المالية والقانونية. بالادعاء ضد مجموعات المحامين الممثلين لشركات الكهرباء العملاقة اليوم، فقد تيسلا التحكم بأهم براءات اختراعاته. بدأ يظهر أيضا علامات بما يدعى الآن بالوسواس القهري (OCD)، حيث أصبح مهووسا بالرقم 3. أصبح بعد ذلك مهووسا بالخوف، وعاش في عزلة في فندق في نيويورك، خائفا من أن يسمم من قبل أعدائه، وكان دوما على بعد خطوة من دائنيه. مات في فقر مدقع في سن السادسة والثمانين العام 1943.

الخاتمة

(1) بارو، الاستحالة، صفحة 47.

(2) بارو، الاستحالة، صفحة 209.

(3) بيكأوفر، الصفحة 192.

(4) بارو، الاستحالة، الصفحة 250.

(5) روكي كولب، مجلة نيو سيانتيست، 18 نوفمبر 2006، صفحة 44.

(6) هوكنغ، صفحة 136.

(7) بارو، الاستحالة، صفحة 143.

(8) ماكس تيغمارك، مجلة نيو سيانتيست، 18 نوفمبر 2006، صفحة 37.

(9) والسبب في هذا أننا حين نأخذ نظرية آينشتاين في الجاذبية ونضيف إليها التصحيحات الكمومية، فإن هذه التصحيحات بدلا من أن تكون صغيرة تصبح لانهائية. خلال السنين صمم الفيزيائيون عددا من الحيل لحذف هذه الحدود اللامتناهية، لكنها فشلت جميعها في إيجاد نظرية كمومية في الجاذبية. لكن في نظرية الأوتار الفائقة تختفي هذه التصحيحات تماما لأسباب عدة. أولا تمتلك نظرية الأوتار الفائقة تناظرا يدعى التناظر الفائق، الذي يلغي العديد من هذه الحدود المتباعدة. وتمتلك نظرية الأوتار الفائقة أيضا قاطعا وهو طول الوتر، والذي يساعد في التحكم بهذه اللامتناهيات.

تعود أصول هذه اللامتناهيات في الحقيقة إلى النظرية الكلاسيكية. تقول نظرية عكس التربيع لنيوتن إن القوة بين جسمين لانهائية إذا انتهت المسافة بينهما إلى الصفر. هذه اللامتناهية الظاهرة حتى في نظرية نيوتن تحمل إلى نظرية الكوانتم. لكن نظرية الأوتار الفائقة لديها قطع اللامتناهية وهو طول الوتر، أو طول بلانك الذي يسمح بالتحكم في هذه التباعدات.

(10) الكساندر فيلينكين، مجلة نيو سيانتيست، 18 نوفمبر 2006، صفحة 51.

(11) بارو، الاستحالة، صفحة 219.



المؤلف في سطور

د. ميشيو كاكو

* عالم متخصص في مجال الفيزياء النظرية، ومهتم بالمستقبليات.
* ولد في سان خوزيه بولاية كاليفورنيا في 24 يناير 1947 لأبوين يابانيين مهاجرين إلى الولايات المتحدة.
* حصل على جائزة نوبل في الفيزياء النظرية عن نظريته في الأوتار الفائقة.
* من مؤلفاته: «رؤى مستقبلية: كيف سيغير العلم حياتنا في القرن الواحد والعشرين» (العدد 270 من سلسلة «عالم المعرفة»)، «الفضاء الفائق»، «عوالم متوازية»، و«كون آينشتاين وما بعد آينشتاين».

المترجم في سطور

د. سعد الدين خرفان

* من مواليد حمص - سورية 1946.
* بكالوريوس شرف في الهندسة الكيميائية من جامعة ليدز 1969.
* ماجستير في البتروكيمياء من جامعة مانشستر 1970.
* دكتوراه في هندسة المفاعلات من جامعة نيوكاسل 1976.
* له عدة مؤلفات في الهندسة الكيميائية والحاسوب والإدارة والبيئة والطاقة، والعديد من البحوث والدراسات في المجلات العلمية المتخصصة.
* ترجم لسلسلة عالم المعرفة كتاب «رؤى مستقبلية: كيف سيغير العلم حياتنا في القرن الواحد والعشرين» العدد 270، وكتاب «وجه غايا المتلاشي: تحذير أخير» العدد 388.

هذا الكتاب

«أي شيء غير مستحيل هو ممكن!»، بهذه العبارة يبدأ ميشيو كاكو كتابه الممتع الذي يأخذنا خلاله في رحلة نستكشف فيها تلك المناطق الرمادية الأكثر إثارة في الفيزياء. صنف كاكو التقانات المستحيلة في الفيزياء إلى ثلاثة أصناف: الصنف الأول هو تقانات مستحيلة اليوم، لكنها لا تناقض القوانين المعروفة في الفيزياء، ومن ثم فهي ممكنة في هذا القرن أو ربما بشكل معدل في القرن الذي يليه، وهي تشمل النقل الفوري البعيد ومحركات مضاد المادة والتخاطر من بُعد والتحريك بتأثير الدماغ والاحتجاب عن الرؤية، وتقع تقانات الصنف الثاني على حافة فهمنا للعالم الفيزيائي، وإذا كانت ممكنة على الإطلاق فإنها ستستغرق لتحققها ما بين آلاف وملايين السنين في المستقبل، وتشمل آلات الزمن والسفر عبر الفضاء الفائق والسفر عبر الثقوب الدودية. أما تقانات الصنف الثالث، مثل آلات الحركة الدائمة والاستبصار، فهي تناقض قوانين الفيزياء المعروفة، ولو ظهر أنها ممكنة فإنها ستمثل تحولا أساسيا في فهمنا للفيزياء.

ISBN 978 - 99906 - 0 - 385 - 9
رقم الإيداع (2013/134)